

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde

Abteilung für Zahnerhaltungskunde

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg

**Revidierbarkeit adhäsiver Sealer im
Vergleich zu nicht-adhäsiven Sealern**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Alexandra RÜTH

aus
Marktheidenfeld

Marburg, 2014

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am 13.10.2014

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan:	Prof. Dr. H. Schäfer
Referent:	Prof. Dr. R. Frankenberger
Korreferent:	Prof. Dr. K. Pieper

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
	Summary	3
2	Einleitung	5
3	Literaturübersicht	6
3.1	Sealer	6
3.1.1	Anforderungen an einen Sealer	6
3.1.2	Konventionelle Sealer	8
3.1.3	Methacrylatbasierte und adhäsive Sealer	13
3.2	Revision von Wurzelkanalfüllungen	19
3.2.1	Revision durch rotierende Nickel-Titan Instrumente	20
3.2.2	Revisionskriterium Reinigungseffizienz	22
3.2.3	Optimierung der Reinigungseffizienz	24
3.2.4	Techniken zur Bestimmung der Revisionseffizienz	25
4	Zielstellung	27
5	Material und Methode	28
5.1	Herstellung der Testexemplare	28
5.1.1	Vorbehandlung	28
5.1.2	Einbettvorgang	30
5.2	Wurzelkanalfüllung	33
5.2.1	Verwendete Sealer	33
5.2.2	Wurzelkanalfüllung in den einzelnen Gruppen	39
5.3	Revision	41
5.4	Mikrofotografische Aufnahmen der Kanaloberfläche	43
5.5	Auswertung	44
5.5.1	Anfertigung von Ausgangsfotos mittels Helicon Focus	44
5.5.2	Bestimmung der sealerbedeckten Kanaloberfläche	46
5.6	Statistische Analyse	46

6 Ergebnisse	47
6.1 Residuales Wurzelkanalfüllmaterial	47
6.2 Revisionsdauer	55
7 Diskussion.....	60
7.1 Diskussion der Methode	60
7.2 Diskussion der Ergebnisse	67
8 Schlussfolgerung	75
9 Literaturverzeichnis	76
10 Abkürzungsverzeichnis	85
11 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	87
12 Anhang	89
12.1 Materialliste	89
12.2 Statistik	92
12.2.1 Deskriptive Statistik	92
12.2.2 Induktive Statistik	94
Verzeichnis akademischer Lehrer	109
Danksagung	110
Ehrenwörtliche Erklärung	111

1 Zusammenfassung

Hintergrund und Ziele

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Revisionseffizienz in mit *AH Plus*, *Apexit Plus*, *Hybrid Root SEAL* oder *GuttaFlow* in Kombination mit einem experimentellen *GuttaFlow*-Primer gefüllten Wurzelkanälen zu untersuchen. Im Speziellen sollte dabei untersucht werden, ob bei einer Revision, die den Wurzelkanal um 2 Instrumentengrößen über die ursprüngliche Aufbereitungsgröße hinaus erweitert, ein Unterschied in der Revisionseffizienz konventioneller Sealer im Vergleich zu adhäsiven Sealern besteht.

Material und Methode

56 humane Incisivi mit geraden Wurzelkanälen wurden mit *FlexMaster*-Instrumenten bis .04/#35 maschinell aufbereitet, der Länge nach geteilt, wieder zusammengesetzt, in reponierbare PUR-Blöcke eingebettet und abschließend mit *FlexMaster* .04/#40 nachinstrumentiert. Die Wurzelkanäle wurden anschließend mit .04/#40 Guttapercha sowie entsprechend der verschiedenen Gruppen mit den Wurzelkanalfüllpasten *AH Plus*, *Apexit Plus*, *Hybrid Root SEAL* oder *GuttaFlow* in Kombination mit *GuttaFlow*-Primer obturiert und für 14 Tage feucht gelagert. Die Revision erfolgte anschließend schrittweise aufsteigend mit *EndoSequence*-Instrumenten der Größe .04/#40, .04/#45 und .04/#50. Die jeweils benötigte Revisionszeit bis zum Erreichen der Arbeitslänge wurde ermittelt. Nach jedem Reinstrumentationsschritt wurden die PUR-Blöcke auseinandergenommen, mikrofotografische Aufnahmen (*Zeiss Stemi SV6*) des apikalen, mittleren und koronalen Kanalabschnittes angefertigt und verbliebene Füllungsreste mittels einer speziellen Mess-Software (*Leica Qwin*) vermessen und prozentual quantifiziert. Die statistische Auswertung erfolgte durch *SPSS 16.0*.

Ergebnisse

Die schrittweise Zunahme der Aufbereitungsgröße von .04/#40 bis .04/#50 reduzierte in allen 4 Versuchsgruppen signifikant den prozentualen Anteil an verbliebenen Füllungsresten ($p < 0,05$). Die Füllungsreste waren dabei abhängig vom verwendeten Sealer ($p < 0,05$): Der adhäsive Sealer *Hybrid Root SEAL* (HRS) hinterließ signifikant mehr Füllungsreste als der konventionelle Sealer *Apexit Plus* (koronal: $p = 0,016$, mittig: $p = 0,000$, apikal keine signifikanten Unterschiede) und als *GuttaFlow* mit *GuttaFlow*-Primer (koronal: $p = 0,000$, mittig: $p = 0,000$, apikal: $p = 0,004$). Im Einzelnen ergab die Auswertung folgende prozentualen Werte für die verbliebenen Sealerreste (koronal/mittig/apikal):

Revisionsschritt 1: *AH Plus*: 44,4%/50,4%/56,2%; *Apexit Plus*: 38,6%/39,3%/47,9%; *GuttaFlow*: 27,7%/35,9%/33,6%; *HRS*: 58,7%/70%/64,6%;

Revisionsschritt 2: *AH Plus*: 35,5%/40,0%/34,7%; *Apexit Plus*: 27,2%/30,6%/33,5%; *GuttaFlow*: 15,2%/22%/25,2%; *HRS*: 45,6%/48,7%/46,4%;

Revisionsschritt 3: *AH Plus*: 25,8%/26,5%/27,2%; *Apexit Plus*: 21,4%/20,6%/19,3%; *GuttaFlow*: 12,1%/16,6%/17,7%; *HRS*: 32,8%/37,6%/31,4%

Zur Revision des adhäsiven Sealers *Hybrid Root SEAL* wurde eine signifikant längere Gesamtzeit benötigt als für *AH Plus* ($p = 0,019$), *Apexit Plus* ($p = 0,023$) und *GuttaFlow* mit Primer ($p = 0,002$).

Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieser Studie war der adhäsive Sealer *Hybrid Root SEAL* bei gleicher Aufbereitungsgröße weniger effizient zu entfernen als die konventionellen Sealer *AH Plus*, *Apexit Plus* und die Kombination aus dem konventionellen Sealer *GuttaFlow* mit einem experimentellen *GuttaFlow*-Primer. Eine Vergrößerung der Aufbereitungsgröße um 2 Instrumenten-Größen über die Kanalgröße der initialen Wurzelkanalaufbereitung erscheint für eine signifikante Reduktion von adhäsiven Sealern hinsichtlich einer effektiven Reduktion der Sealerreste nicht ausreichend zu sein.

1 Summary

Objectives

The present study aimed to evaluate the retreatment efficiency of root canal fillings performed with *AH Plus*, *Apexit Plus*, *Hybrid Root SEAL (HRS)* and *GuttaFlow* in combination with an experimental *GuttaFlow* primer. In detail, this study should answer the question whether a retreatment size exceeding the initial instrumentation by two instrument sizes reveals differences in terms of retreatment efficiency regarding conventional sealers compared to adhesive sealers.

Materials und Methods

The root canals of 56 straight human incisors were instrumented with *FlexMaster* files to an apical size of .04/#35, separated longitudinally, re-assembled, molded within polyurethane (PUR) blocks and finally instrumented with a *FlexMaster* file .04/#40. Then root canals were obturated with a size .04/#40 gutta-percha cone and *AH Plus*, *Apexit Plus*, *Hybrid Root SEAL* or *GuttaFlow/GuttaFlow* primer respectively and stored for 14 days (37°C/100% humidity). Endodontic retreatment was performed stepwise using *EndoSequence* instruments of sizes .04/#40, .04/#45 and .04/#50. Additionally, the required retreatment time to achieve the working length was recorded. After each retreatment step the resin blocks were separated and microphotographs of the apical, middle, and coronal part of both halves of the root canal were taken (*Zeiss Stemi SV6*). Sealer residues were calculated with an image analysis software (*Leica Qwin*) and the amount of residues was expressed as percentage of residue-coated canal surface (PRCS). Statistical analysis was performed with *SPSS 16.0* (SPSS Inc.) software.

Results

Stepwise enlargement of instrumentation size from size .04/#40 to .04/#50 significantly reduced the amount of sealer residues within all 4 groups ($p < 0.05$). In this respect, the amount of residual sealer depended on the sealer type ($p < 0.05$): adhesive sealer *Hybrid Root SEAL* left significantly more residues than conventional sealers *Apexit Plus* (coronal: $p = 0.016$, middle: $p = 0.000$, apical no significant differences) and *GuttaFlow* in combination with *GuttaFlow* primer (coronal: $p = 0.000$, middle: $p = 0.000$, apical: $p = 0.004$). Microscopic evaluation revealed following results of PRCS:

retreatment step 1: *AH Plus*: 44,4%/50,4%/56,2%; *Apexit Plus*: 38,6%/39,3%/47,9%; *GuttaFlow*: 27,7%/35,9%/33,6%; *HRS*: 58,7%/70%/64,6%;

retreatment step 2: *AH Plus*: 35,5%/40,0%/34,7%; *Apexit Plus*: 27,2%/30,6%/33,5%; *GuttaFlow*: 15,2%/22%/25,2%; *HRS*: 45,6%/48,7%/46,4%;

retreatment step 3: *AH Plus*: 25,8%/26,5%/27,2%; *Apexit Plus*: 21,4%/20,6%/19,3%; *GuttaFlow*: 12,1%/16,6%/17,7%; *HRS*: 32,8%/37,6%/31,4%

Retreatment of the adhesive sealer *Hybrid Root SEAL* required a significantly longer overall instrumentation time than retreatment of root canal fillings with *AH Plus* ($p = 0.019$), *Apexit Plus* ($p = 0.023$) and *GuttaFlow* with *GuttaFlow* primer ($p = 0.002$).

Conclusions

Within the limits of this study the adhesive sealer *Hybrid Root SEAL* was less efficient to retreat than the conventional sealers *AH Plus*, *Apexit Plus* and *GuttaFlow* sealer combined with an experimental *GuttaFlow* primer when using the same size of instruments. Enlargement of the root canal up to two sizes beyond the instrumentation size of the initial root canal treatment does not seem to be sufficient in terms of retreatment efficiency to significantly reduce adhesive sealers.

2 Einleitung

Zahlreiche Studien der vergangenen Jahre (14, 29, 48, 91) konnten zeigen, dass im Durchschnitt 50% aller untersuchten wurzelkanalgefüllten Zähne eine apikale Radioluzenz aufweisen. Das Risiko akut wiederaufflammender Beschwerden (Flare-up) bei vorhandener periapikaler Aufhellung ist hierbei um beinahe das 10-fache höher als bei einem endodontisch behandelten Zahn ohne apikale Aufhellung (45). Nach Aufbereitung und Desinfektion des Wurzelkanals sollte eine Wurzelfüllung daher eventuell noch vorhandene Bakterien sicher einschließen und das Kanalsystem dauerhaft und vollständig dicht durch geeignete Fülltechniken versiegelt werden, um eine Reinfektion des periradikulären Gewebes durch eine Mikroleakage gar nicht erst entstehen zu lassen.

Auf der Suche nach dem idealen Material hat sich die Dentalindustrie zunehmend auf die Entwicklung adhäsiver Sealer konzentriert, die einen bakteriendichten Verschluss gewährleisten sollen.

Kommt es nun in einem mit Adhäsivtechnik behandelten Wurzelkanal doch zu einem Flare-up, stellt sich die Frage nach der zu treffenden Therapieentscheidung.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie kam zu dem Ergebnis, dass eine chirurgische Intervention mittels Wurzelspitzenresektion zwar kurzfristig den besseren Erfolg erzielt, langfristig jedoch einer Revision der vorhandenen Wurzelfüllung der Vorzug gegeben werden sollte, da diese eine bessere Langzeitprognose aufweist (97).

Salehrabi und Rotstein (74) konnten die hohe Erfolgsrate einer Reinstrumentierung des Kanalsystems damit bestätigen, dass 89% aller von Ihnen untersuchten Zähne 5 Jahre nach erfolgter Revisionsbehandlung nach wie vor in situ waren.

Vor diesem Hintergrund sollte sich die vorliegende Dissertation mit der Revidierbarkeit adhäsiver im Vergleich zu nicht-adhäsiven Sealern beschäftigen.

3 Literaturübersicht

3.1 Sealer

Im Anschluss an eine chemomechanische Aufbereitung eines Wurzelkanals, die die Ausformung und Reinigung desselben vorsieht, steht der behandelnde Zahnarzt vor der Herausforderung, den entstandenen Hohlraum im Inneren des Zahnes wieder möglichst optimal zu verschließen. Als Standardmethode kommt hierbei die Kombination aus zwei Materialien zur Anwendung: ein festes Kernmaterial, zumeist Guttapercha, wird zusammen mit einer erhärtenden Wurzelfüllpaste (Sealer) in den jeweiligen Kanal eingebracht.

3.1.1 Anforderungen an einen Sealer

Die Hauptaufgabe des Sealers besteht darin, die Inkongruenzen zwischen der Form der Wurzelkanalwand und jener des Kernmaterials, sowie akzessorische Seitenkanäle auszufüllen (75). Um dies sicher zu gewährleisten, sollte der ideale Sealer eine Vielzahl von Eigenschaften aufweisen, die Grossman in anschaulicher Weise zusammenfasste (35):

- gute Adhäsion zu Kanaldentin und Wurzelkanalfüllstift
- hermetische Versiegelung des Kanalsystems
- Radioopazität
- Volumenstabilität
- keine Verfärbung der Zahnstruktur
- keine Begünstigung des Bakterienwachstum (bakteriostatisch)
- langsame Aushärtung
- Unlöslichkeit in Gewebeflüssigkeit
- Biokompatibilität
- Löslichkeit mit Lösungsmitteln, bzw. falls nötig Revidierbarkeit

Als besonders wichtiges Kriterium ist hierbei das Erreichen eines dichten Verschlusses des Wurzelkanals anzusehen. Es ist bekannt, dass inadäquate Füllungen zu einem Eindringen von Bakterien oder Gewebeflüssigkeit führen können, was wiederum eine periapikale inflammatorische Reaktion induzieren kann (71). Eine Revision der vorhandenen Wurzelfüllung wäre die notwendige Folge.

Dieser als Mikroleakage bezeichnete Prozess ist definiert als Bewegung von oralen Flüssigkeiten zwischen dem Zahn und der vorhandenen Restauration, bzw. Wurzelfüllung. Die so genannte koronale Leakage, d.h. die Penetration von Bakterien von koronal nach apikal, wurde als potentieller Grund für das Scheitern einer endodontischen Behandlung identifiziert (40, 66). Durch Kariesrezidive (evtl. mit Einbruch der Zahnhartsubstanz), undichte bzw. frakturierte Füllungen oder durch den Verlust permanenter Restaurationen kann das Wurzelkanalsystem gegenüber dem Mundmilieu mit Speichel und darin enthaltenen Bakterien exponiert werden (46). Diese können dann entlang der Grenzflächen Dentin-Sealer oder Sealer-Kernmaterial bis ins periradikuläre Gewebe vordringen und dort eine entzündliche Reaktion auslösen. Zudem ist es möglich, dass die Speichelkontamination zu einer Löslichkeit des Sealers führt, was wiederum eine Leakage nach apikal verursacht.

Auch apikale Undichtigkeiten gilt es zu vermeiden. Wird durch den verwendeten Sealer am Foramen physiologicum kein dichter Verschluss erzielt, so können nach der Aufbereitung in den Dentintubuli verbliebene Bakterien und deren Stoffwechselprodukte ebenfalls wieder nach periapikal vordringen (46).

Im Hinblick auf eine notwendig werdende Revision sollte ein Sealer also vor allem die von Grossman empfohlenen Kriterien Dichtigkeit und Unlöslichkeit erfüllen. Eine gute Adhäsion (Haftkraft) zu den beiden Grenzflächen Kernmaterial und Dentin ist wichtig, um die Integrität des Haftverbundes nicht nur in statischen, sondern auch in dynamischen Situationen (unter Kaubelastung) zu gewährleisten. Zudem soll durch einen nur geringen Schrumpfungsfaktor während des Abbindens das Entstehen von Spalten am

Interface Dentin-Sealer bzw. Sealer-Kernmaterial vermieden werden. Ein langsamer Abbindevorgang soll gewährleisten, dass der Sealer genügend Zeit hat, in Seitenkanäle zu fließen und Inkongruenzen sicher auszufüllen.

3.1.2 Konventionelle Sealer

Eine Vielzahl von Sealern steht dem Behandler zum Abfüllen eines aufbereiteten Wurzelkanals zur Verfügung. Erhältlich sind Sealer auf der Basis von Zinkoxid-Eugenol, Kalziumhydroxid, Glasionomercement, Epoxidharz und Silikonen (28). Zudem verfügbar stehen adhäsive Sealer auf Kunststoff-Basis (Methacrylat).

Im Folgenden sollen die in dieser Studie verwendeten Sealer vorgestellt werden:

AH Plus

Bei *AH Plus* (Dentsply DeTrey, Konstanz) handelt es sich um einen Sealer auf Epoxidharzbasis, der 1995 auf dem Markt als Nachfolgeprodukt für *AH 26* (Dentsply DeTrey) eingeführt wurde. Beide Materialien wurden in zahlreichen *in-vitro* wie auch *in-vivo* Studien untersucht und werden in der Regel als „Goldstandard“ zum bewertenden Vergleich mit anderen Sealern herangezogen (68).

AH Plus bindet im Vergleich zu seinem Vorgänger *AH 26* nicht mehr kondensationsvernetzend, sondern additionsvernetzend ab, woraus laut Hersteller eine nur geringe Schrumpfung (1,76%) resultiert (68). Ørstavik et al. (64) ermittelten die Dimensionsänderung, denen *AH Plus* während und nach dem Abbinden unterliegt, mit dem Ergebnis, dass es entgegen Herstellerangaben sogar einer geringen Expansion (0,4% nach 4 Wochen, 0,9% nach 48 Wochen) unterliegt.

Die guten Kurz- und Langzeitdichtigkeitswerte, welche für *AH Plus* ermittelt wurden, könnten unter anderem dieser Tatsache geschuldet sein (6, 11, 17). Neben einer geringen Löslichkeit von 0,3% (57, 75, 79) weist *AH Plus* zudem eine gute Adhäsion am Wurzelkanaldentin auf (68). Im Vergleich mit anderen

konventionellen Sealern konnten *AH 26* und *AH Plus* dabei die höchsten Haftkräfte erreichen (20, 52, 68, 73). Gogos et al. (33) konnten für *AH Plus* sogar eine Scherhaftkraft von $6,2 \pm 1,4$ MPa ermitteln. Die Adhäsion konventioneller Sealer ist normalerweise im Bereich von < 3 MPa einzuordnen (68). Als Grund dieser Ergebnisse wird angenommen, dass kovalente Bindungen zwischen Aminogruppen des Kollagens und dem epoxidharzbasierten Sealer gebildet werden (52, 76), also somit eine mikromechanische Verbindung zum Wurzelkanalentin entsteht (92).

Es wird vermutet, dass Epoxidharze nicht nur mit Dentin, sondern auch mit Guttapercha einen Haftverband eingehen (68). Lee et al. (52) konnten hier für *AH 26* gute Werte ermitteln.

Frisch angemischter *AH 26*-Sealer zeigte in Studien deutliche zytotoxische Nebenwirkungen, die durch die geringe Formaldehydfreisetzung beim Abbinden des Materials erklärt werden können. Diese Freisetzung von Formaldehyd nimmt jedoch mit zunehmender Aushärtung ab und ist nach einigen Wochen kaum noch nachweisbar (87). Im abgebundenen Zustand werden Sealer auf Epoxidharzbasis als biologisch inert angesehen (103). Zudem wurde beim Nachfolgeprodukt *AH Plus* auf den im *AH 26* enthaltenen und für die Formaldehydfreisetzung verantwortlichen Stoff Hexamethylentetramin verzichtet. *AH Plus* gibt daher Formaldehyd in nur noch kaum messbaren Dosen ab (68).

Insgesamt kann eine Empfehlung für die Verwendung von *AH Plus* ausgesprochen werden (68). Auch die DGZMK empfiehlt den Gebrauch von Sealern auf Epoxidharzbasis (103).

Apexit Plus

Apexit Plus (Ivoclar Vivadent, Ellwangen) ist ein Sealer auf Kalziumhydroxid/Salicylatbasis und wurde als Weiterentwicklung für das seit 1990 erhältliche *Apexit* (Ivoclar Vivadent) auf dem Markt eingeführt.

Kalziumhydroxid wird in der Zahnheilkunde bereits seit über einem Jahrhundert zu verschiedenen Zwecken genutzt. So findet es Einsatz in der direkten Überkappung, als medikamentöse Einlage und zur Apexifikation (19). Zur Verwendung kommt es dabei vor allem aufgrund seiner

antimikrobiellen Eigenschaften und der Potenz, eine Hartgewebsneubildung zu initiieren. Bei Gewebekontakt kommt es nach einer anfänglichen degenerativen Reaktion zur Mineralisation und Ossifikation (54). Ursächlich hierfür ist eine Dissoziation des Kalziumhydroxids in Kalzium und Hydroxyl-Ionen, welche dann in das umgebende Gewebe gelangen (28). Die Kalzium-Ionen zeigen sich dabei verantwortlich für die Mineralisation, während freiwerdende Hydroxyl-Ionen den pH-Wert im Gewebe anheben und so antibakteriell wirken.

Die Idee, Kalziumhydroxid auch als Inhaltsstoff eines Sealers zu nutzen, war daher nahe liegend. Neben dem Nutzen der antimikrobiellen Eigenschaften erhoffte man sich, im periapikalen Raum eine Reossifikation nach endodontischer Behandlung erreichen zu können. Studien konnten bis dato allerdings nicht belegen, dass diese positiven Effekte von Kalziumhydroxidpräparaten zur direkten Überkappung auch von kalziumhydroxidhaltigen Sealern erfüllt werden (28, 100) und diese keine oder nur geringe antimikrobielle Aktivität zeigen (19, 75).

Über *Apexit Plus* liegen bis heute kaum Studien in Bezug auf Dichtigkeit, Adhäsion, Dimensionsverhalten beim Abbinden oder Löslichkeit vor, da es sich um ein relativ neues Material handelt und sich vorhandene Studien meist um die oben angesprochenen antimikrobiellen Eigenschaften drehen. Der Vorgänger *Apexit* wurde in der Literatur mit konträren Ergebnissen bewertet. Diverse Studien bescheinigten ihm im Vergleich zu *AH Plus* schlechtere Werte bezüglich Haftkraft und Mikroleakage (58, 73, 96).

Eldeniz und Ørstavik (21) ermittelten dagegen sowohl für *Apexit*, als auch für *GuttaFlow* bessere Leakagewerte als für *AH Plus*.

Laut Herstellerangaben ist *Apexit Plus* im Vergleich zum Vorgänger *Apexit* hydrophiler (mit dem Ziel einer höheren Affinität zum Wurzelkanalentin) und soll damit bessere Ergebnisse gewährleisten (102).

Salz et al. (75) gaben in einer kürzlich veröffentlichten Studie die Dimensionsänderung nach erfolgtem Abbindevorgang für *Apexit Plus* mit 0,4%, die Löslichkeit mit 0,5% an, womit diese Werte denen von *AH Plus* ähneln. *Apexit Plus* zeigte in dieser Studie, die die bakterielle Leakage mittels *Streptococcus mutans* untersuchte, ein statistisch signifikant besseres Dichtungsverhalten als *AH Plus*.

GuttaFlow

Mit *GuttaFlow* (Coltène/Whaledent, Langenau) wurde ein Sealer auf der Basis eines additionsvernetzenden Silikons auf dem Markt eingeführt, der eine Modifikation des seit 1999 erhältlichen *RoekoSeal Automix* (RSA) (Coltène/Whaledent) darstellt.

Bereits für RSA wurde über eine Periode von 18 Monaten ein dichter Verschluss des Wurzelkanals nachgewiesen (105). Generell wird es als vielversprechendes Material empfohlen (68).

GuttaFlow als Modifikation von RSA enthält sehr kleine Guttapercha Partikel ($< 30 \mu\text{m}$) in Pulverform und ist somit eine Kombination aus einem Sealer mit bereits enthaltener Guttapercha. Guttapercha schrumpft beim Erkalten, falls sie mit Warmfülltechniken in den Wurzelkanal eingebracht wird: ein Nachteil, falls man diese mit Wärme gut im Kanal adaptieren möchte. *GuttaFlow* wird vom Hersteller als erste fließfähige, nicht erwärmte Guttapercha beworben, die beim Abbinden keine Schrumpfung, sondern eine leichte Abbindeexpansion von 0,2% zeigt und damit zu einem sehr guten Randschluss führt (12). Ausgezeichnete Fließeigenschaften sollen laut Hersteller zudem dazu beitragen, einen besseren Verschluss und gute Adaptation ans Wurzelkanalentin und den zentralen Guttaperchastift zu erreichen. Außerdem wird die vom NIOM (Norwegisches Institut für Dentalmaterialprüfung) getestete Löslichkeit von *GuttaFlow* mit 0,0% angegeben (12). *GuttaFlow* enthält Nano-Silber Partikel, welche antibakteriell wirken und vor einer Reinfektion des Kanalsystems schützen sollen (12).

Ebenso wie beim Sealer *Apexit Plus* gibt es bisher kaum Literatur über *GuttaFlow*. Vor allem stehen Studien bezüglich der Haftkraft von *GuttaFlow* noch aus. Vasiliadis et al. (98) untersuchten die Kurz- (1 Woche) und Langzeitdichtigkeit (3 Monate) von *GuttaFlow* im Vergleich zu *AH Plus* mit dem Ergebnis, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Materialien festzustellen sind.

Savariz et al. (76) testeten ebenfalls *AH Plus* gegen *GuttaFlow* auf ihre apikale und koronale Dichtigkeit (3, 30 und 120 Tage), verwendeten dabei aber unterschiedliche Fülltechniken. Sowohl *GuttaFlow* als auch *AH Plus* wurde einmal mit lateraler Kompaktion zum anderen mit Single-Cone-

Technik angewendet. *GuttaFlow* zeigte über die Zeit hinweg mit beiden Techniken ein besseres koronales und apikales Obturationspotential als *AH Plus*. Unterschieden sich die Werte zu Beginn der Studie bei beiden Materialien nicht signifikant, so nahm die koronale Leakage bei *AH Plus* über die Zeit zu, während *GuttaFlow* konstant gleichbleibende Werte über 3, 30 und 120 Tage zeigte. Die guten Ergebnisse von *GuttaFlow* könnten dabei der Abbindeexpansion und Unlöslichkeit geschuldet sein.

Diese Ergebnisse decken sich mit einer Studie von Kontakiotis et al. (49). Hier zeigte *GuttaFlow* ebenfalls zu Beginn des Versuchs ein ähnliches Leakage wie *AH 26*. Nach 12 Monaten wiederum wies *GuttaFlow* signifikant geringere Leakage als *AH 26* auf.

Maßnahmen zur Verbesserung der Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung

Trotz aller Bemühungen einen optimal abdichtenden Sealer zu entwickeln, gibt es bis dato kein verfügbares Material und keine Fülltechnik, die eine Leakage völlig verhindern kann (21).

Um die abdichtenden Eigenschaften eines Sealers zu verbessern, empfiehlt sich vor der Obturation des Wurzelkanals die Entfernung des sog. Smear layers (84). Diese Schicht entsteht bei der Bearbeitung des Dentins während der Aufbereitung des Wurzelkanals, ist ca. 1-5 µm dick und enthält neben zermahlenem Dentinabrieb und Resten von Pulpagewebe auch Bakterien und deren Toxine, falls die Pulpa bei Beginn der Wurzelbehandlung bereits infiziert war. Von einigen Autoren wird empfohlen den Smear layer zu belassen, da dieser die Dentinkanälchen blockieren könnte und damit ein Eindringen von Mikroorganismen mit folgender Infektion des Dentins zu verhindern vermag. Zum größten Teil kommt man in der Literatur allerdings zu dem Schluss, dass eine Entfernung ratsam ist. Ein Belassen des Smear layers könnte eine optimale Penetration von Spüllösungen zur Desinfektion, medikamentösen Einlagen und schließlich auch des Sealers in die Dentinkanälchen limitieren (84). Dies würde dann zu reduzierter Haftung des Sealers am Wurzeldentin (31) und damit zu einer reduzierten Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung führen.

Einen weiteren interessanten Ansatzpunkt zur Verbesserung der Dichtigkeit lieferten Manocci und Ferrari (55). Sie verwendeten den konventionellen Sealer *AH 26* ohne und in Kombination mit Dentinadhäsiven zur Obturation des Wurzelkanals. Eine signifikante Reduktion der apikalen Mikroleakage war das Ergebnis, wenn der jeweilige Kanal mit Phosphorsäure und Haftvermittler vorbehandelt wurde.

Äquivalent konnten Gogos et al. (34) nachweisen, dass *AH 26* signifikant höhere Haftwerte am Wurzeldentin erreicht, wenn dieses vorher mittels Dentinhaftvermittlern vorbehandelt wurde.

Saleh et al. (73) ermittelten für *RSA* in Kombination mit einem Primer bei vorhandener Schmierschicht höhere Haftwerte am Dentin, als wenn kein Adhäsiv zum Einsatz kam.

3.1.3 Methacrylatbasierte und adhäsive Sealer

Bis heute sind 4 Generationen methacrylatbasierter Sealer entwickelt worden, wobei die jüngsten 3 Generationen erst während der letzten Jahre auf dem Markt erschienen sind (47).

Die 1. Generation *Hydron* (Hydron Technologies Inc, Pompano Beach, FL, USA) - eingeführt in den 70er Jahren - wurde entwickelt, als die Wissenschaft bezüglich des Dentinbondings noch in den Kinderschuhen steckte. *Hydron* wurde ohne Kernmaterial in den Kanal injiziert und in nur einem Schritt polymerisiert. In den 80er Jahren wurde seine Verwendung obsolet, da der Sealer neben einer Expansion durch Wasseraufnahme auch extremes Leakage mit folgenden ernstzunehmenden inflammatorischen Reaktionen verursachte (47).

Durch die Fortschritte, die im Bereich der restaurativen adhäsiven Zahnheilkunde erreicht werden konnten, kam es zu Beginn des 21. Jahrhunderts zu einer Wiedereinführung methacrylatbasierter Sealer (47). Da herkömmliche konventionelle Sealer weder am Dentin, noch an Guttapercha suffiziente Adhäsion ohne Leakage zeigen (90), entstand die Idee, im Wurzelkanal einen so genannten „Monoblock“ herzustellen. Wurzelkanaldentin, Sealer und Kernmaterial sollen dabei eine einzige, spaltfreie Einheit

bilden, die sowohl den dichten Verschluss des Kanalsystems, als auch eine erhöhte Frakturresistenz des Zahnes zum Ziel hat (83, 95). Hierzu wurden neben den Sealern auch neue Kernmaterialien entwickelt.

EndoREZ (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, USA), als Material der 2. Generation, wurde in Kombination mit *EndoREZ Points* (Ultradent Products Inc.), d.h. Guttaperchaspitzen mit Kunststoffummantelung zur Verfügung gestellt. Zwischen Guttapercha und Sealer sollte so erstmalig ein chemischer (adhäsiver) Verbund möglich werden. Bei *EndoREZ* selbst handelte es sich wiederum erstmalig um einen dualhärtenden Sealer. Dualhärtende Systeme kombinieren hierbei eine lichtaktivierte Polymerisation im koronalen, dem Licht zugänglichen Wurzelkanalbereich, mit einer chemischen Abbindereaktion in den tiefer gelegenen Wurzelkanalabschnitten (90). Während zum Kernmaterial durch die Ummantelung der Guttapercha mit Kunststoff bereits ein adhäsiver Verbund angestrebt wurde, so wurde *EndoREZ* zunächst noch ohne Dentinadhäsiv verwendet und hat selbst auch keine dentinkonditionierenden Eigenschaften. Allerdings ist das Material stark hydrophil und damit konzipiert, um in der feuchten Umgebung des Wurzelkanals in akzessorische Seitenkanäle und Dentintubuli fließen zu können (47). Obwohl kein Dentinhaftvermittler verwendet wurde, konnte trotzdem die Ausbildung einer Hybridschicht nachgewiesen werden. Unter der Hybridschicht versteht man gewissermaßen eine Verbundzone - gebildet durch von Kunststoffzotten infiltrierten Dentintubuli (sog. resin tags) - welche üblicherweise unter zu Hilfenahme von Haftvermittlern erzielt wird. Diese ermöglichen eine Penetration des hydrophoben Methacrylats des Kunststoffes (Sealers) in die durch Dentinkonditionierung freigelegten oberflächlichen Dentintubuli (hydrophil). Tay et al. konnten für *EndoREZ* in den koronalen und mittleren Kanalabschnitten 800-1200 µm lange resin tags in den Tubuli nachweisen (94).

Durch die Ausbildung einer Hybridschicht werden - wie aus der restaurativen adhäsiven Zahnheilkunde bekannt - Haftwerte um die 25-30 MPa (68) am Dentin angestrebt (konventionelle Sealer < 3 MPa). Sealer der 3. Generation nutzten nun daher zusätzlich ein selbstätzendes Adhäsiv, um diese Haftung zum Dentin herstellen zu können. Auch die Verbundfläche des Sealers zum Kernmaterial sollte mit der Einführung eines neuen Produktes unter dem

Namen *Resilon* revolutioniert werden. Basierend auf einer Entwicklung der Firma Resilon Research (Resilon Research LLC, Madison, CT, USA) produzierte und vertrieb die Pentron Corp. im Jahr 2003 dieses neue, synthetische Material auf Polyesterbasis (Inhaltsstoff: Polycaprolacton), das bei der Obturation des Wurzelkanals als Guttapercha-Alternative zum Einsatz kommen sollte (69). Jenes ist zwar weich und thermoplastisch wie Guttapercha, sollte jedoch durch inkorporierte Methacrylate einen adhäsiven Verbund zum methacrylatbasierten Sealer herstellen. Somit sollte es erstmals möglich sein, einen Wurzelkanal vollständig mit Materialien auf Kunststoffbasis zu füllen, was vom Hersteller als „neue Ära der Obturation des Wurzelkanals“ beworben wurde (47). Systeme wie *Epiphany*, *RealSeal* und *Next* bestehen allesamt aus den oben genannten Komponenten selbstätzender Primer, methacrylatbasierter Sealer und Kernmaterial *Resilon*.

Das zweizeitige Vorgehen durch den separaten Ätzschritt mittels Primer bei Sealern der 3. Generation kann darin resultieren, dass das demineralisierte Dentin nicht vollständig vom Monomer des Sealers infiltriert wird und damit unbenetztes Kollagen verbleibt (1, 6). Dies wiederum kann zu nanoskopischen Undichtigkeiten (Nanoleakage) führen. Selbstadhäsive Sealer wurden daher als 4. Generation entwickelt. Hier entfällt der separate Ätzschritt mittels Primer. Stattdessen sind saure Kunststoffmonomere, die sich vorher im Primer befanden, nun direkt im Sealer inkorporiert und machen ihn damit selbstadhäsiv (47). Die Demineralisation des Dentins erfolgt damit gleichzeitig mit der Infiltration durch die Monomere des Sealers (6). Als erstes Material der 4. Generation kam das in der vorliegenden Studie verwendete *Hybrid Root SEAL* (Sun Medical Co., LTD., Moriyama, Shiga, Japan) (in den USA: *MetaSEAL* (Parkell Inc., Edgewood, NY, USA)) auf den Markt. Als weitere Materialien sind z.B. *RealSeal SE* oder *Epiphany SE* zu nennen.

Hybrid Root SEAL (MetaSEAL)

Hybrid Root SEAL (HRS) enthält das in Japan entwickelte selbstkonditionierende Haftmonomer 4-Meta, welches schon vor der Einführung

von *HRS* als Bestandteil zahlreicher Dentinadhäsive verwendet wurde (13). 4-META enthält sowohl hydrophile als auch hydrophobe Gruppen, durch die die Affinität des Monomers zu Wurzelkanaldentin (hydrophile Gruppe) und Kernmaterial (hydrophobe Gruppe) gefördert werden soll und dadurch nach der Aushärtung, bzw. Polymerisation eine stabile Hybridschicht an beiden Grenzflächen entsteht (1, 47, 62).

Die hohe Dichtigkeit, die der Sealer hiermit erreichen soll, ist bis dato nur durch wenige Studien evaluiert worden. Belli et al. (6) widmeten sich als Erste der Kurz- und Langzeitdichtigkeit von *HRS* im Vergleich zu *RealSeal* und der Referenz *AH Plus*. Letzteres wurde dabei mit Guttapercha verwendet, während *RealSeal* mit *Resilon* zum Einsatz kam. *HRS* wurde in Kombination mit beiden Kernmaterialien getestet. Am Ende der 24-wöchigen Untersuchungsperiode konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den 4 untersuchten Gruppen in Bezug auf eine Leakage festgestellt werden. Die adhäsiven Sealer waren in dieser Studie demnach *AH Plus* nicht überlegen. Auch die Verwendung von *Resilon* anstelle von Guttapercha führte nicht zu einer Reduktion der Leakage.

Dieses Ergebnis deckt sich mit einer Studie von Stoll et al. (90). Diese kam zu dem Schluss, dass die Haftkraft konventioneller (*AH Plus*) und adhäsiver (*RealSeal*, *HRS*) Sealer an *Resilon* stärker ist als an Guttapercha, dieser Unterschied jedoch für adhäsive Sealer der 4. Generation (*HRS*) nicht signifikant ist und diese damit ohne klinischen Nachteil mit Guttapercha kombiniert werden können.

Önay et al. (63) untersuchten die apikale Dichtigkeit von *HRS* und *RealSeal* über einen 1-wöchigen Zeitraum in einer Nachfolgestudie anlehnend an Belli et al. (6, s. oben). Als Referenz diente wiederum ein Sealer auf Epoxidharzbasis (*MM-Seal*). Alle 3 Materialien wurden sowohl mit *Resilon*, als auch mit Guttapercha (*Herofill*) durch Warmfülltechniken in den Kanal eingebracht. Zwar zeigte *HRS* in dieser Studie in Kombination mit *Resilon* signifikant geringere Leakage als mit *Herofill*, jedoch war die insgesamt geringste Undichtigkeit signifikant in der *MM-Seal/Herofill* Gruppe nachzuweisen, womit der epoxidharzbasierte Sealer dem adhäsiven *HRS* hier sogar überlegen war.

Die Haftkraft eines Sealers am Dentin ist wichtig, um die Integrität des dichten Verschlusses im Wurzelkanal sowohl in statischen, als auch dynamischen Situationen (unter Kaubelastung) zu erhalten (62). Önay et al. (62) untersuchten in einer weiteren Studie die Haftkraft von *HRS*, *RealSeal* und *MM-Seal* in Kombination mit *Herofill* und *Resilon* mittels Push-Out-Test. Die adhäsiven Sealer *HRS* und *RealSeal* zeigten hier in Kombination mit *Resilon* die signifikant höchsten Haftwerte, allerdings mit hoher Standardabweichung innerhalb der Gruppen (*HRS/Resilon*: $3,43 \pm 2,07$ MPa; *RealSeal/Resilon*: $3,18 \pm 2,16$ MPa; *MM-Seal/Resilon*: $1,95 \pm 0,84$ MPa). Die positiven Ergebnisse können also nicht auf alle Testexemplare bezogen werden.

Eine Studie von Lawson et al. (51) kam zu einem gegenteiligen Schluss: hier zeigte die Kombination *AH Plus/Guttapercha* unabhängig von der verwendeten Füllungstechnik (Einstifttechnik, vertikale Kompaktion mit System B unter Wärmeeinsatz) signifikant höhere Push-Out-Werte als die *HRS/Guttapercha* Gruppe, womit der konventionelle Sealer hier ein weiteres Mal überlegen war.

Adhäsivtechnik im Wurzelkanal

Wie am Beispiel von *HRS* zu sehen ist, erreichten auch methacrylatbasierte Sealer bisher keine perfekte Obturation des Wurzelkanalsystems, wofür es eine ganze Reihe möglicher Gründe gibt.

Ein Hauptproblem der Adhäsivtechnik im Wurzelkanal ist die Schrumpfung des Sealers während des Abbindens, bzw. der Polymerisation. Durch diese kann der anfängliche Kontakt des Sealers zum Dentin abreißen und dadurch ein Schrumpfungsspalt entstehen, der eine folgende Bakterienpenetration ermöglichen kann (47). Ungünstig wirkt sich hierbei scheinbar besonders der hohe Konfigurationsfaktor (C-Faktor) im langen und engen Wurzelkanal aus, welcher als das Verhältnis von gebundener zu ungebundener Oberfläche definiert ist (47, 62, 63). Die Lichthärtung von koronal führt aufgrund dessen zu einem hohen Schrumpfungstress (6).

Zudem wird durch eine sofortige koronale Lichtpolymerisation verhindert, dass der Sealer genügend Zeit findet, in Seitenkanäle zu fließen und das Kanalsystem zwischen Kernmaterial und Dentin vollständig auszufüllen.

Eine weitere Problematik ist in der mikroskopischen Anatomie des Wurzelkanals zu sehen. Während im koronalen Kanalabschnitt ca. 40000 Dentintubuli pro Quadratmillimeter Oberfläche vorhanden sind, so konnten im apikalen Bereich lediglich ca. 2500/mm² und auch Stellen ohne Tubuli nachgewiesen werden (59), wodurch die Penetration der Methacrylate in das apikale im Vergleich zum koronalen Dentin reduziert ist (69). Auch ist im apikalen Wurzeldrittel älterer Zähne häufig sklerotisches Dentin anzutreffen. Im apikalen Kanalbereich wird also schwieriger die Ausbildung einer Hybridschicht erreicht als koronal.

Zusätzlich kann die Ausbildung einer suffizienten Hybridschicht durch die Anwendung von Obturationstechniken mit Wärme gestört werden. Diese kann den Sealer höher viskös werden lassen, wodurch dieser nur noch mit limitierter Kapazität in die bereits demineralisierten Dentinkanälchen fließen kann (62, 63). Lawson et al. (51, s. S. 17) wiesen - neben den für *HRS* erniedrigten Push-Out-Werten bei den mit warmer vertikaler Kompaktion obturierten Kanälen - vom Sealer nicht infiltrierte Dentintubuli und nur eine gering ausgebildete Hybridschicht nach.

Auch die Schmierschicht - der sog. Smear layer - erweist sich im Wurzelkanal bei der Verwendung adhäsiver Sealer als problematisch. In aufbereiteten Kanälen gibt es stets Areale, die sowohl von derzeitig verwendeten endodontischen Instrumenten, wie auch von Spüllösungen zur Entfernung der Schmierschicht, nicht erreicht werden können und somit Kanalabschnitte mit Smear layer verbleiben (47). Um eine suffiziente Hybridschicht ausbilden zu können, müssen adhäsive Sealersysteme also in der Lage sein, durch den Smear layer hindurch das darunterliegende Dentin suffizient zu demineralisieren. Kürzlich veröffentlichte Studien (3, 53) konnten zeigen, dass *HRS* als Sealer der 4. Generation nicht ausreichte, diese Anforderung zu erfüllen. Um das Risiko eines endodontischen Misserfolgs zu minimieren, werden daher Chelatoren wie EDTA oder Zitronensäure als Spüllösung zur Entfernung der Schmierschicht bei der Verwendung adhäsiver Sealer empfohlen.

Weitere Forderungen bei der Applikation von Dentinadhäsiven im Wurzelkanal (z.B. Trocknung des Kanals, Entfernung überschüssigen Primers) sind - im Vergleich zur Verwendung in der konservierenden

Füllungstherapie - als deutlich techniksensitiver zu bewerten und damit auch eine mögliche Fehlerquelle (69).

Aufgrund dieser vielfältigen Problematiken, denen adhäsive Sealer im Wurzelkanal gegenüberstehen, erscheint die von Grossman geforderte Möglichkeit einer Revidierbarkeit (9) im Falle eines Misserfolges dringend erforderlich.

3.2 Revision von Wurzelkanalfüllungen

Der Hauptgrund für persistierende oder akut wieder aufflammende Entzündungen des apikalen Periodonts nach einer Wurzelkanalbehandlung ist die Reinfektion durch oder das Überleben von Bakterien im Wurzelkanalsystem (60, 85, 86). Die Revision eines wurzelbehandelten Zahnes ist daher indiziert bei einer koronalen oder apikalen Mikroleakage, nicht ausreichend extendierten Kanalobturationen und nicht aufbereiteten apikalen Bereichen oder kompletten Wurzelkanälen (22). Zum Ziel hat diese dabei, die mikrobielle Belastung aus dem Kanal zu eliminieren oder zumindest signifikant zu reduzieren (36). Um eine effektive Säuberung des Kanalsystems erreichen zu können, ist es essentiell, die vorhandene Wurzelfüllung so komplett wie möglich aus dem insuffizient aufbereiteten, bzw. gefüllten Kanal zu entfernen (80). Damit sollen in Kernmaterial und Sealer vorhandene Bakterien und nekrotische Gewebsreste beseitigt werden und die darunterliegenden Dentintubuli wieder möglichst freigelegt werden, um das Kanalsystem einer erneuten Formgebung, Desinfektion und anschließender Obturation zugänglich zu machen (88).

Allgemein lässt sich feststellen, dass eine Revision umso effizienter ist, je sauberer sich der Wurzelkanal nach der Reinstrumentation darstellt und je weniger Zeit hierfür veranschlagt werden muss.

3.2.1 Revision durch rotierende Nickel-Titan-Instrumente

Zur Revision vorhandener Wurzelfüllmaterialien können im allgemeinen Hand-, Ultraschall- oder rotierende Instrumente mit oder ohne den unterstützenden Einsatz eines Lösungsmittels oder Wärme zum Einsatz kommen (9, 22, 25, 26, 27, 32, 39, 44, 61, 72, 80, 81, 101).

Maschinelle rotierende Instrumente bestehen in der Endodontie aus der Legierung Nickel-Titan (NiTi). Diese wurde erstmals 1988 von Walia zur Herstellung von Wurzelkanalinstrumenten verwendet (99) und ist gekennzeichnet durch herausragende physikalische Eigenschaften: NiTi zeigt ein pseudoelastisches Verhalten (Verformungsverhalten lässt sich nicht in einen elastischen und plastischen Bereich einteilen; es findet keine plastische Umwandlung statt) und gehört zu den sog. Formgedächtnislegierungen mit einem 5-fach niedrigerem Elastizitätsmodul als konventionelle Stahlinstrumente, worauf eine 3-fach erhöhte Flexibilität beruht (43, 99). Durch diese Eigenschaften passen sich diese Instrumente der Morphologie eines Wurzelkanals optimal an und richten sich anschließend wieder vollständig gerade aus, was auch als „Memory-Effekt“ bezeichnet wird (10). Viele Studien konnten zeigen, dass dadurch die Wurzelkanalform eines Zahnes nach der Aufbereitung besser erhalten werden kann als bei einer Aufbereitung durch konventionelle Stahlinstrumente (15, 77, 89). Zudem wird häufig über eine Zeitersparnis gegenüber Handinstrumenten berichtet (32, 37, 78).

Ursprünglich zur Aufbereitung von Wurzelkanälen entwickelt, werden NiTi Feilensysteme heute auch zur Revision einer vorhandenen Wurzelfüllung empfohlen. Diverse Studien bestätigen deren Effektivität und ihr Säuberungspotential im Vergleich zu Handinstrumenten (32, 36, 41, 72, 82).

EndoSequence und Vorgängersysteme

In der vorliegenden Studie kam das kürzlich eingeführte Feilensystem *EndoSequence* (Real World Endo, Brasseler USA, Savannah, GA) zur Anwendung.

EndoSequence versteht sich als System der neuesten Generation mit einem neuartigen Instrumentendesign: Die Feilen verfügen über das patentierte sog. ACP (Alternate contact point) Design mit alternierenden Schneidekanten.

Mit dem Hintergrund, die Instrumente im Wurzelkanal zu zentrieren, um Abweichungen vom ursprünglichen Kanalverlauf beim Aufbereiten zu vermeiden, verfügten NiTi-Feilensysteme früherer Generationen (z.B. *ProFile*, *GT Rotary*, *K3*) noch über sog. Radial Lands und U-förmige Querschnitte (106). Nachteilig erwies sich bei diesen allerdings eine aufgrund des Instrumentendesigns verminderte Flexibilität, ein durch die erhöhte Auflagefläche der Radial Lands benötigter höherer Torque um den Kanal zu instrumentieren und folglich eine relativ geringe Schneideleistung (50, 106). Nachfolgende Systeme (z.B. *ProTaper*, *FlexMaster*) verzichteten auf Radial Lands und wiesen nun Instrumentendesigns mit negativen Schneidewinkeln und konvexen Querschnitten auf, wodurch die Schneideleistung dieser Systeme bei einer verbesserten Flexibilität erhöht wurde.

Verschiedene Studien, die die Revisionseffizienz rotierender NiTi-Systeme untersuchten, kamen zu dem Ergebnis, dass schneidende Systeme wie *ProTaper*, *FlexMaster* und auch Stahlinstrumente zur Handinstrumentation (z.B. Hedström-Feilen) eine bessere Reinigungspotenz aufweisen als Feilen mit Radial Lands (5, 7, 32, 44). NiTi-Systeme mit negativem Schneidewinkel erzielen laut Studien wiederum bessere Reinigungsergebnisse als Handinstrumente (32, 36, 41, 82) und seien damit für die Revision von Wurzelkanalfüllungen empfohlen.

Das bei *EndoSequence* verwendete neuartige Design mit ACP ermöglicht es nun laut Hersteller zum einen, die jeweilige Feile im Wurzelkanal optimal zu zentrieren (selbstzentrierender Effekt), gleichzeitig aber den benötigten Torque - durch die geringe Auflagefläche der Feile an der Kanalwand - reduzieren zu können. Das Fehlen von Radial Lands führt zu einem

schärferen Instrument mit hoher Schneideleistung bei geringerem Kerndurchmesser, woraus eine erhöhte Flexibilität der Feile resultiert (2, 50). Bei der Revision entfernen Feilensysteme mit schneidendem, negativem Winkel (z.B. die speziellen Revisionsfeilen des *ProTaperUniversal*-Systems) große Beträge an Guttapercha, welche sich regelrecht in Spiralen um die Feile windet und so nach koronal aus dem Kanal entfernt wird. Instrumente mit U-förmigem Querschnitt (*ProFile*) entfernen Guttapercha dagegen nur in kleinen Inkrementen. Die Radial Lands führen dabei wahrscheinlich dazu, dass Guttapercha regelrecht an die Kanalwände verschmiert wird (32, 41).

Bei *EndoSequence* handelt es sich um ein bis dato kaum in Studien untersuchtes Feilensystem. Ring et al. (67) bescheinigten *EndoSequence* eine ähnliche Reinigungspotenz im Vergleich zu *ProTaper Universal* bei einer signifikant schnelleren Revisionszeit.

Abgesehen vom neuen Feilendesign zeichnet sich *EndoSequence* im Vergleich zu vorhergehenden Systemen durch seine speziell bearbeitete Oberfläche aus. Eine elektrochemische Politur (electro-polished surface) soll Imperfektionen in der Oberflächenstruktur eliminieren, wodurch die Feile laut Hersteller nur wenig bruchanfällig ist. Zudem soll dadurch die Schärfe, also folglich die Schneideleistung zusätzlich erhöht werden. (50, 106)

3.2.2 Revisionskriterium Reinigungseffizienz

Revidierbarkeit konventioneller im Vergleich zu adhäsiven Sealern

Ezzie et al. (22) beschäftigten sich 2006 erstmals mit der Revidierbarkeit adhäsiver Sealer. *Epiphany* zusammen mit *Resilon* wurde dabei im Vergleich zum Standard *AH Plus*/Guttapercha untersucht. Die Revision wurde mit *ProFile* in Kombination mit einem Lösungsmittel (Chloroform) oder Wärme (System B) durchgeführt und verbliebene Reste wurden durch eine Einteilung in unterschiedliche „Verschmutzungsgrade“ bewertet. *Epiphany/Resilon* war in dieser Studie nicht nur schneller revidierbar als die *AH*

Plus/Guttapercha-Gruppe, es verblieben bei *Epiphany* auch weniger Füllungsreste an den Wurzelkanalwänden, egal welche Technik verwendet wurde.

Auch de Oliveira et al. (18), Schirrmeister et al. (82) und Bodrumlu et al. (8) kamen zu dem Ergebnis, dass das *Epiphany* System besser revidierbar sei, als Guttapercha und *AH 26*, bzw. *AH Plus*. Cunha et al. (16) verglichen die Revidierbarkeit von *RealSeal/Resilon* vergleichsweise zu einer *AH Plus*/Guttapercha Kontrollgruppe mittels manueller Reinstrumentation unter Zuhilfenahme des Lösungsmittels Chloroform. Auch hier konnte der adhäsive Sealer zu größeren Anteilen entfernt werden als *AH Plus*/Guttapercha.

Zu einem gegenteiligen Ergebnis kamen Hassanloo et al. (39). Hier war das *Epiphany/Resilon* System sowohl mit und ohne Chloroform schlechter revidierbar als *AH Plus*/Guttapercha. Mit Ausnahme dieser und einer kürzlich veröffentlichten Studie von Zarei et al. (107) scheint es also einen generellen Konsensus darüber zu geben, dass methacrylatbasierte Sealer effektiver, mit weniger verbleibendem Füllungsmaterial, revidiert werden können als konventionelle Sealer-Guttapercha-Kombinationen (47). Besonders im apikalen Wurzeldrittel erwiesen sich die adhäsiven Sealer dabei als besser entfernbar (22, 47).

Als möglicher Grund wurde eine leichtere Revidierbarkeit für *Resilon* im Vergleich zu Guttapercha diskutiert, da *Resilon* einen niedrigeren Schmelzpunkt als Guttapercha besitzt. Wird *Resilon* Wärme ausgesetzt (z.B. generiert durch System B oder die Wärme, die beim Rotieren der maschinellen NiTi Feilen bei hohen Drehzahlen entsteht), wird es also stärker verflüssigt als Guttapercha und dadurch leichter entfernbar. Zudem scheint es mit Chloroform besser löslich zu sein als Guttapercha (22).

Nach bestem Wissen des Verfassers dieser Dissertation gibt es bisher keine Studie, die sich mit der Revidierbarkeit eines adhäsiven Sealers der 4. Generation befasst hat. Zudem wurden bisher immer Kombinationen aus methacrylatbasierten Sealern mit *Resilon* verwendet. Um gleiche Bedingungen zu schaffen, wurde hier auch für den adhäsiven Sealer *HRS* Guttapercha als Kernmaterial genutzt, um das Hauptaugenmerk auf die Revidierbarkeit des Sealers und nicht auf die des Kernmaterials zu legen.

3.2.3 Optimierung der Reinigungseffizienz

Als wichtigstes Kriterium einer erfolgreichen Revision gilt - wie bereits oben erwähnt - die Sauberkeit eines Wurzelkanals nach der Reinstrumentation. Auch obwohl die heute verwendeten neueren NiTi-Systeme im Vergleich zu Handinstrumenten und NiTi-Feilen älterer Generationen bessere Ergebnisse erzielen, so ist doch allgemein festzustellen, dass bisher keine Methode und auch kein zur Wurzelfüllung verwendetes Material einen vollständig sauberen Kanal hinterlässt.

Vielfältige Studien zur Revisionseffizienz berichten über Füllungsreste an den Kanalwänden unabhängig vom verwendeten Sealer (adhäsiv oder konventionell) oder der genutzten Revisionstechnik (9, 22, 25, 26, 27, 36, 39, 61, 70, 72, 81, 93, 101). Der größte Anteil an verbliebenem Material ist dabei konsequent im apikalen Bereich des Wurzelkanals auszumachen (9, 18, 22, 25, 26, 27, 39, 44, 61, 70, 72, 81, 101).

Um diese Füllungsresiduen möglichst maximal verringern zu können, wurde wiederholt in der Literatur vorgeschlagen, den Wurzelkanal bei der Revision mit höheren ISO-Feilengrößen zu instrumentieren, als dieser ursprünglich aufbereitet wurde (sog. root canal enlargement) (18, 22, 26, 27, 61, 81, 101). Hassanloo et al. (39) konnten diese These erstmals statistisch belegen. 60 Wurzeln wurden in dieser Studie bis .04/#45 mit dem maschinellen K3 NiTi-System aufbereitet, in Kunststoffblöcke eingebettet und anschließend der Länge nach geteilt. Nachdem beide Blockhälften reponiert waren, wurden die Kanäle zur Hälfte mit *Epiphany* und *Resilon*, zum anderen mit *AH Plus* und Guttapercha abgefüllt. Nach 8 Wochen folgte der 1. Schritt der Revision in der ursprünglichen Aufbereitungsgröße .04/#45 (wiederum K3) mit und ohne Zuhilfenahme von Chloroform. Beide Blockhälften wurden geteilt und die Wurzelhälften zur Bestimmung der Füllungsreste mittels Fotos digitalisiert. Im Anschluss fand nach erneutem Zusammensetzen der Blockhälften ein weiteres Enlargement der Wurzelkanäle mittels K-Feilen (Handinstrumente) bis zu einer Größe von .02/#55 statt, woraus ein anderer Konus resultierte. Eine Untersuchung der Füllungsreste beim Zwischenschritt #50 wurde nicht durchgeführt. Als Ergebnis konnten signifikant geringere Reste im 2.

Revisionsschritt für beide Füllungsmaterialien - sowohl mit als auch ohne Chloroform - beobachtet werden. Ein Enlargement der Revision über die ursprüngliche Aufbereitungsgröße hinaus, gilt damit als klinische Möglichkeit, die Effizienz einer Reinstrumentation zu verbessern.

Roggendorf et al. (70) konnten dieses Ergebnis in einer Nachfolgestudie bestätigen. Ziel dieser Arbeit war es unter anderem zu evaluieren, wieviele Instrumentengrößen höher aufbereitet werden muss, bis Füllungsreste signifikant abnehmen. Schrittweise wurden hier mit *ActiveGP* (Sealer auf Glasionomierzementbasis) oder *GuttaFlow* gefüllte Wurzelkanäle über die vorherige Aufbereitungsgröße .04/#40 hinaus mit *EndoSequence* (ebenfalls Taper .04) revidiert, bis kaum noch Füllungsrückstände an den Kanalwänden auszumachen waren. Die Auswertung erfolgte nach jedem Reinstrumentationsschritt mittels Micro-CT Aufnahmen.

Verblieb nach dem ersten Revisionsschritt mit .04/#40 durchschnittlich 2-4% Restbetrag an den Kanalwänden, so konnte dieser durch die weitere Aufbereitung bis .04/#50 signifikant auf weniger als 0,3% gesenkt werden. Eine Aufbereitung nur eine weitere Instrumentengröße höher (von #40 auf #45) als die Ausgangsgröße, reduzierte die Füllungsreste dagegen noch nicht signifikant.

Eine Aufbereitung des jeweiligen Wurzelkanals um 2 Instrumenten-Größen über die ursprüngliche Aufbereitungsgröße hinaus führte folglich zur Entfernung des größten Anteils an Füllungsresten im apikalen Wurzeldrittel und wird daher als notwendig erachtet.

3.2.4 Techniken zur Bestimmung der Revisionseffizienz

Die Bestimmung von Füllungsresten im Wurzelkanal wurde in vorherigen Studien auf vielfältige Art und Weise vorgenommen. Generell lassen sich invasive von nicht invasiven Techniken unterscheiden.

Als nicht invasive Methoden wurden zur Auswertung Röntgenbilder angefertigt (25, 30, 56) oder die Wurzeln transparent gemacht (80, 81, 82).

Diese Techniken ließen lediglich eine zweidimensionale Beurteilung der verbliebenen Füllungsreste zu. Dadurch konnten zwar qualitative Aussagen

zur Revisionseffizienz getroffen werden, eine quantitative Bestimmung der Materialreste war allerdings nicht möglich (39, 70, 93).

In der Mehrzahl der Fälle wurden die Zähne nach erfolgter Revision der Länge nach geteilt, um den verbleibenden Betrag an Füllungsmaterial in den einzelnen Wurzeldritteln bestimmen zu können (18, 22, 26, 27, 61, 72, 101). Diese Methode hatte neben dem Verlust an Wurzelkanaloberfläche (invasiv subtraktive Technik) durch den Teilungsvorgang zum Nachteil, dass die Bestimmung von Materialresten lediglich am Endpunkt des Revisionsprozesses erfolgen konnte (70) und es dadurch nicht möglich war zu evaluieren, ab welcher Zunahme der Aufbereitungsgröße des Wurzelkanals mit einer signifikanten Reduktion von Füllungsresten zu rechnen ist (39).

Dieser Aspekt konnte kürzlich erstmals durch Hassanloo et al. (39) mit der Entwicklung eines neuen Untersuchungsmodells in Augenschein genommen werden. Durch Einbetten der Wurzeln in Kunststoffblöcke und anschließendes Teilen in der Mitte des Wurzelkanals entlang der Längsachse des Zahnes, entstand ein Modell, das immer wieder auseinander genommen und zusammengesetzt werden konnte. So wurde es möglich, verbliebene Füllungsreste nach jedem Schritt eines progressiven Enlargements beurteilen zu können.

Hammad et al. (38), Barletta et al. (4) und Roggendorf et al. (70) nutzten kürzlich schließlich Micro-CT-Aufnahmen, um den Betrag an verbliebenem Füllungsmaterial nach erfolgter Revision zu evaluieren. Diese Methode ermöglicht es, auf nicht invasive Weise, eine schrittweise Beurteilung der Revisionseffizienz durch wiederholte Scans nach jeder Aufbereitungsgröße zu treffen.

4 Zielstellung

Bei einer Revision verringert das Enlargement eines Wurzelkanals über die ursprüngliche Aufbereitungsgröße hinaus maßgeblich die Reste an verbleibendem Füllungsmaterial.

Roggendorf et al. (70) konnten bei einer Aufbereitung - 2 Größen über die ursprüngliche hinaus - Residuen im Wurzelkanal bei der Verwendung konventioneller Sealer bis auf ein Minimum reduzieren.

Als Ziel der vorliegenden Studie galt es zu evaluieren, ob diese These auch für adhäsive Sealer Gültigkeit besitzt und diese daher im Vergleich besser oder schlechter revidierbar sind.

Hybrid Root Seal kam als adhäsiver Sealer der jüngsten Generation zur Anwendung.

Der konventionelle Sealer *GuttaFlow* (Silikonbasis) wurde in Kombination mit einem experimentellen *GuttaFlow* Primer verwendet. Hierdurch sollte ein direkter Vergleich zur Studie von Roggendorf et al. (70) möglich werden, wo ebenfalls *GuttaFlow* - auf konventionelle Weise ohne ein Adhäsiv – verwendet wurde.

Das kalziumhydroxidbasierte *Apexit Plus* und das epoxidharzbasierte *AH Plus* wurden schließlich als rein konventionelle Sealer zur Anwendung gebracht.

5 Material und Methode

5.1 Herstellung der Testexemplare

Für die vorliegende Studie wurden 60 einkanalige, humane Incisivi des Unterkiefers verwendet. Die Lagerung der Zähne erfolgte direkt nach der Extraktion in Chloramin-T-Lösung 0,5% (Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen) bei Raumtemperatur. Bis Studienbeginn wurde eine Lagerungsdauer von maximal 8 Wochen nicht überschritten.

Das umseitige Flussdiagramm (Abb.1, S. 29) vermittelt einen Überblick des gesamten Versuchsaufbaus.

5.1.1 Vorbehandlung

Zunächst wurden die Zähne von anhaftendem Desmodont, parodontalen Geweberesten sowie Zahnstein und Konkrementen mittels eines Frontzahn-scalers (Carl Martin, Solingen) befreit. Hierauf erfolgte die Dekapitation der Zahnkronen in Höhe der Schmelz-Zement-Grenze mit rotem Winkelstück (KaVo, Biberach) und einem Diamantbohrer mittlerer Körnung (Brasseler, Lemgo) unter Wasserkühlung. Zähne mit ovalem Kanalquerschnitt oder zwei Wurzelkanälen wurden verworfen und nicht für die Studie verwendet. Die Wurzelkanäle wurden zunächst durch Einführen eines K-Reamers der ISO Größe 15 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) gängig gemacht. Die Arbeitslänge wurde für jedes Testexemplar individuell durch Verschieben des Reamers bis zur Sichtbarkeit am Foramen physiologicum und anschließendem Zurückziehen des Instruments um 0,5 mm festgelegt. Hierauf wurden die Kanäle mit dem maschinellen Nickel-Titan System *FlexMaster* (VDW, München) gemäß Herstellerangaben mit einem VDW.Silver Endomotor (VDW) und aufgesetztem Endodontie Winkelstück (6:1 Übersetzung) (VDW) aufbereitet. Je nach Lumengröße des jeweiligen Wurzelkanals wurde dabei die vom System vorgesehene farblich codierte

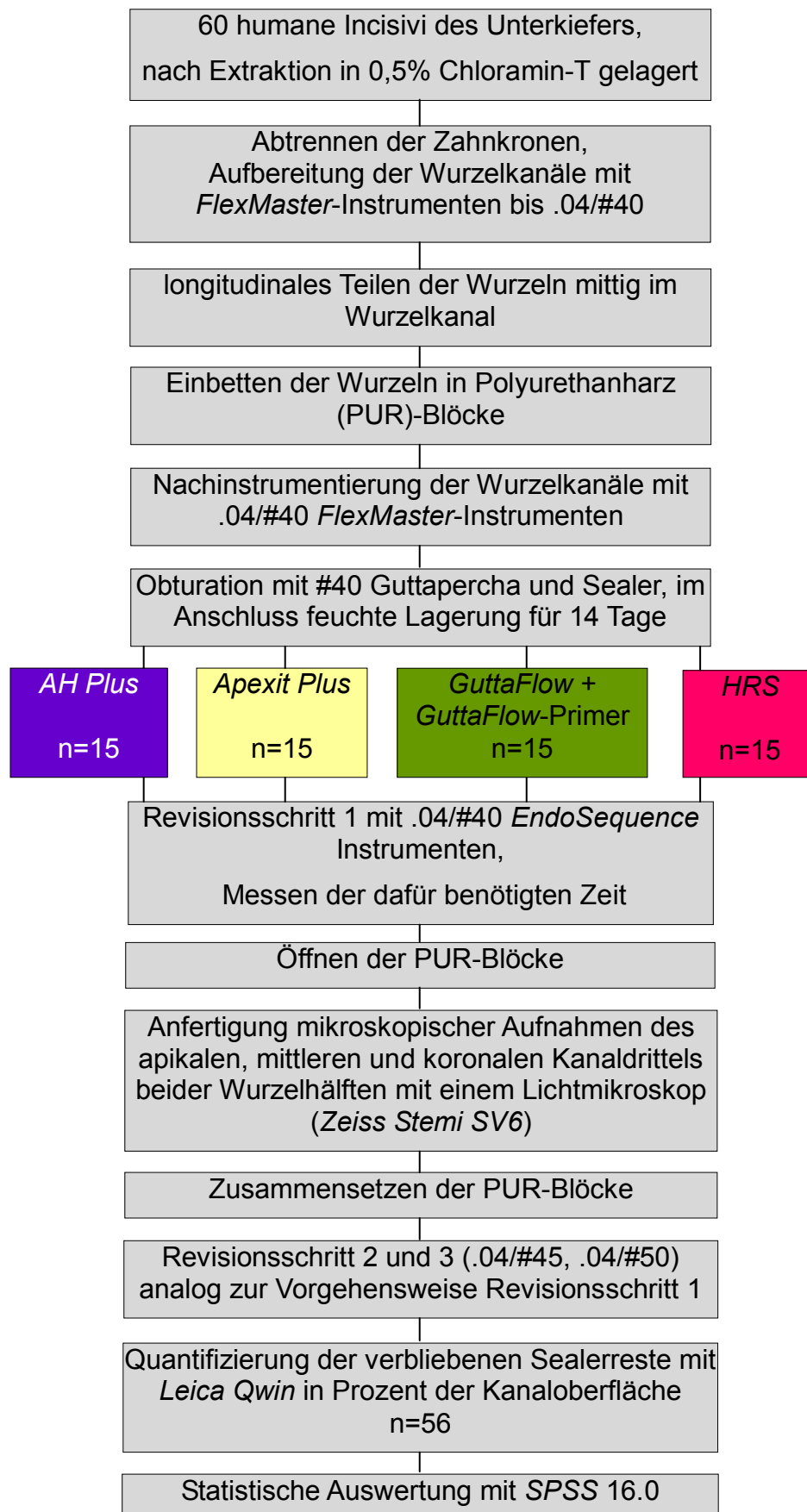


Abb. 1: Flussdiagramm der einzelnen Arbeitsschritte

Feilensequenz mit entsprechender Drehzahl und entsprechendem Drehmoment im *FlexMaster*-Programm des *VDW.Silver* verwendet.

Während des Aufbereitungsvorgangs erfolgte nach jeder Instrumentengröße eine Wechsspülung mit 5%igem Natriumhypochlorit (Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen) und 40%iger Zitronensäure (Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen), wobei das Spülvolumen jeweils 2 ml betrug. Alle 60 Testexemplare wurden bis zu einer Größe von .04/#35 in Crown-Down-Technik aufbereitet.

Nach der Aufbereitung wurde jeder Zahn mit einer formkongruenten Guttaperchaspitze der Größe .04/#35 in 2 Ebenen geröntgt. Exemplare, in denen Inkongruenzen zwischen Kanalwand und Guttaperchastift sichtbar waren, wurden aussortiert und durch neue Zähne ersetzt.

Um später beurteilen zu können, welche Menge an Füllungsresiduen nach der Revision des Obturationsmaterials im jeweiligen Kanal verblieb, war es nun nötig, jedes Testexemplar in zwei Hälften zu teilen, um eine freie Sicht auf die Kanalwände zu ermöglichen. Hierzu wurde jede Wurzel mittels eines Handstücks (W&H, Bürmoos, Österreich) und einer Trennscheibe (Hager&Meisinger, Neuss) in mesio-distaler Richtung geteilt. Um jeden Kanal mittig zu treffen, wurde vorher ein ISO 10 Reamer (Dentsply Maillefer) leicht über den Apex hinaus eingeführt und dem Instrumentenverlauf folgend mesial und distal eine vertikale Markierung mit einem Folienstift (*Lumocolor*, Staedtler, Nürnberg) an der Außenfläche der Wurzel eingezeichnet. Leichte, beim Teilen entstandene Überhänge wurden mit einem Skalpell (Braun, Tuttlingen) und Schmirgelpapier vorsichtig entfernt. Bis zum Einbettvorgang wurden alle Wurzeln in destilliertem Wasser gelagert.

5.1.2 Einbettvorgang

Eigens für die vorliegende Studie wurden aus einem Dubliersilikon (*Hinrisil hydro*, Ernst Hinrichs GmbH, Goslar) Gussformen erstellt (s. Abb. 2, S. 31). Diese wurden genutzt, um die geteilten Zähne in das Polyurethanharz (PUR) *Biresin G 27* (Sika B.V, Utrecht, Niederlande) einbetten zu können. Es sollte dadurch möglich werden, die Wurzelhälften im weiteren Versuchsverlauf

jederzeit auseinander nehmen und zusammensetzen zu können. Hierzu wurden die Gussformen zunächst nur bis zur Hälfte mit Biresin aufgefüllt. Nach dem Abbinden des Polyurethanharzes wurden pro Gussteil 3 Retentionen und eine Vertiefung zur Aufnahme der einzubettenden Wurzel angelegt (Abb. 2).

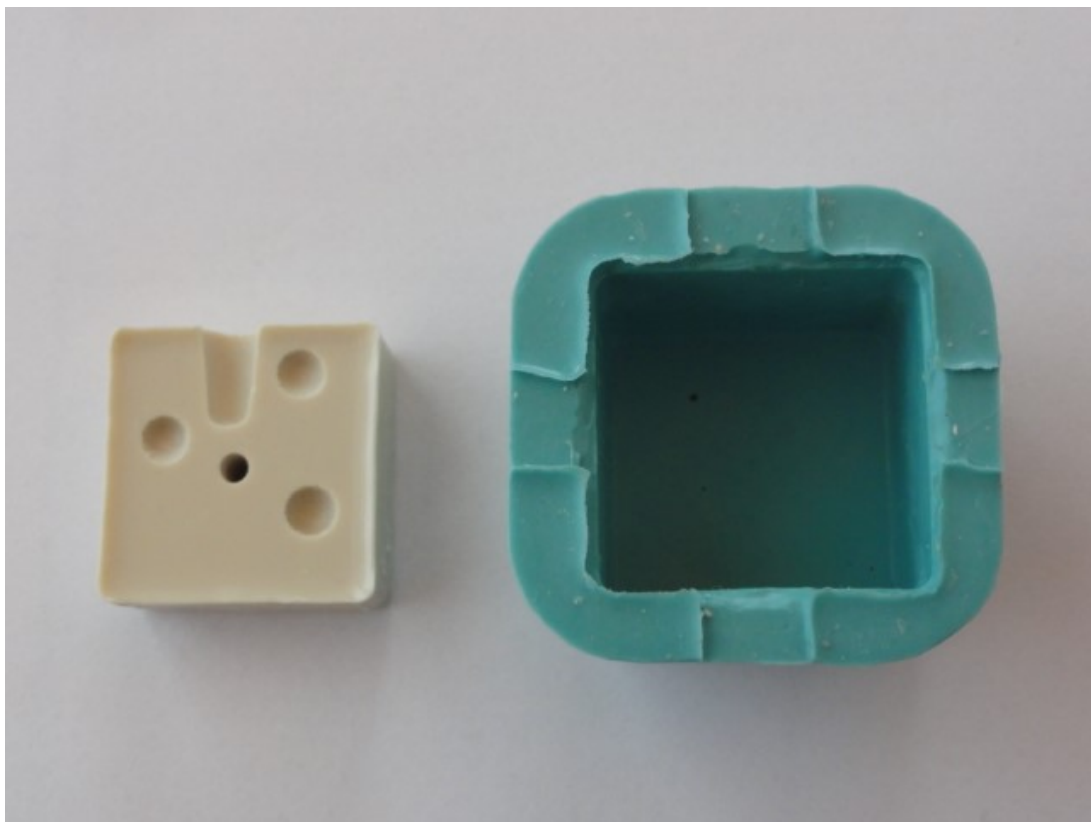


Abb. 2: Gusshohlform (rechts) und angefertigtes *Biresin*-Gussteil (links)

Die Wurzelhälften der 60 Zähne wurden nun wieder zusammengesetzt, indem zwischen beide Teile eine Guttaperchaspitze (*Guttapercha Antaeos* .04, VDW) der Größe .04/#30 in den Kanal eingelegt wurde. Von der Außenseite wurden die Hälften im Anschluss durch Auftragen von *Heliobond* (Ivoclar Vivadent, Ellwangen) mittels einer feinen Mikrobürste (*Omnibrush*, Omnident, Rodgau) und folgendem Aushärten des Bondings mit einer Polymerisationslampe (*Bluephase*, Ivoclar Vivadent) verschlüsselt. Jeder der 60 Zähne wurde dann mit Komposit (*Grandio*, Voco, Cuxhaven) unter Zuhilfenahme eines Heidemannspatels (HuFriedy, Leimen) in der angelegten Vertiefung im *Biresin*-Block befestigt.

Nach dem Auftragen einer Isolierungsschicht mit *Vita ZETA HC Special Insulating Liquid* (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) wurde ein Block nach dem anderen in die Gussform reponiert und diese vollständig mit *Biresin* aufgefüllt. Die Guttapercha verblieb während des Einbettvorgangs in der Wurzel, um ein Eindringen des Harzes in den Kanal zu verhindern.

Nach dem Abbinden wurden beide Hälften des entstandenen Blocks vorsichtig mit einem Skalpell getrennt und die Guttapercha aus der Wurzel entfernt. Die fertigen Blöcke wurden mittels einer Bohrung (*quantum B16* Tischbohrmaschine, Optimum Maschinen Germany GmbH, Hallstadt/Bamberg) zur Aufnahme einer Edelstahl-Schraube versehen, welche die Blöcke mittels einer Kontermutter fixierte. Beide Hälften des Klötzchens konnten nun fest miteinander verschraubt und jederzeit wieder voneinander getrennt werden, um Einsicht in den Wurzelkanal zu erhalten (Abb. 3).

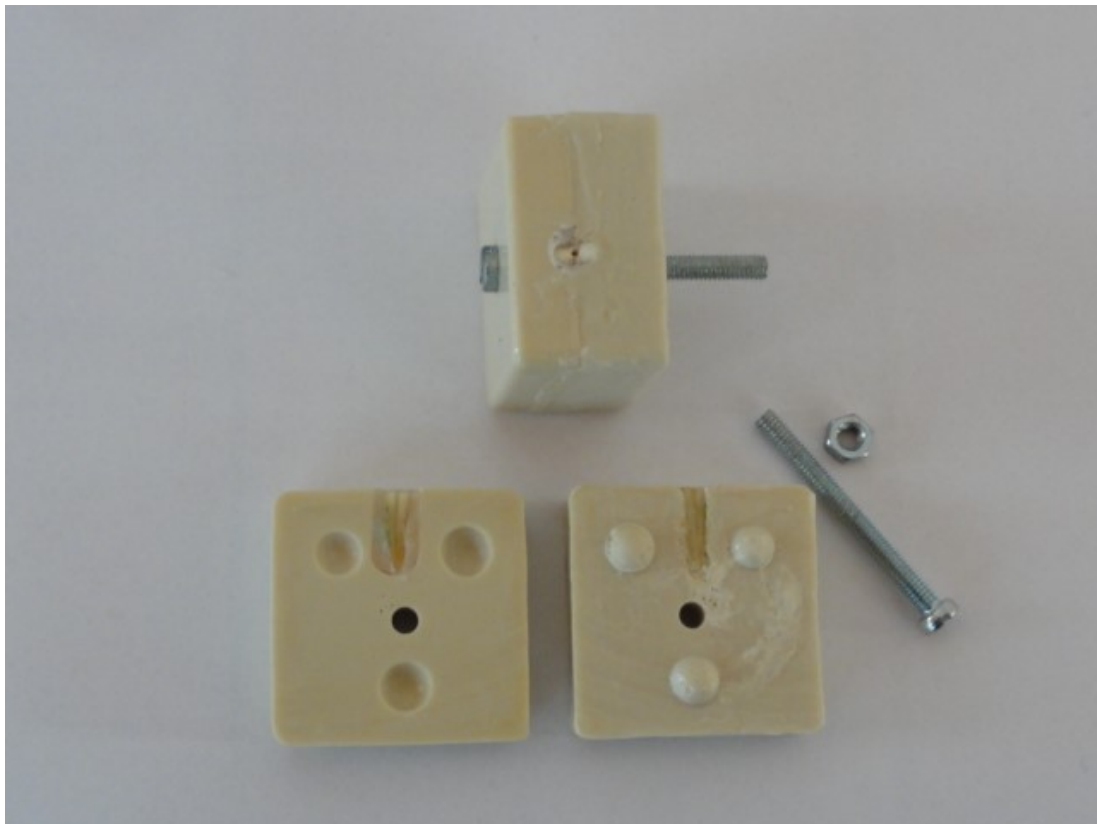


Abb. 3: Fertiger PUR-Block mit eingebettetem Zahn im offenen und geschlossenen Zustand

Die Hälften aller 60 Testexemplare wurden miteinander fixiert und mit Feilen der Größe .04/#40 (*FlexMaster*, VDW) nachinstrumentiert, um den Materialverlust im Wurzelkanal auszugleichen, der beim Teilen mit der Trennscheibe entstanden war.

Zur Entfernung der bei der Aufbereitung und Nachinstrumentierung entstandenen Schmierschicht wurde folgendes Spülprotokoll eingehalten:

	Spülvolumen	Irrigationslösung
1.	2 ml	Natriumhypochlorit 5%
2.	2 ml	Zitronensäure 40%
3.	2 ml	Ethanol 70%

Tab. 1: Spülsequenz zur Entfernung der Schmierschicht und nach Revision

Die 60 Testexemplare wurden nun abschließend vor der Wurzelkanalfüllung randomisiert in 4 Gruppen zu je 15 Zähnen aufgeteilt.

5.2 Wurzelkanalfüllung

Alle 60 Wurzelkanäle wurden mit Guttapercha in Single-Cone-Technik abgefüllt. Als Sealer wurden in den 4 verschiedenen Gruppen *AH Plus* (Gruppe 1), *Apexit Plus* (Gruppe 2), *GuttaFlow* mit *GuttaFlow*-Primer (Gruppe 3) und *Hybrid Root Seal* (Gruppe 4) verwendet.

5.2.1 Verwendete Sealer

AH Plus

AH Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz) ist ein Sealer auf Epoxidharzbasis und stellt ein Zweipasten-System dar, bei dessen Zubereitung beide Komponenten in einem Volumenverhältnis von 1:1 manuell angemischt werden.



Abb. 4: Epoxidharz-Sealer *AH Plus*

AH Plus bindet durch eine Epoxid-Amin-Polyadditionsreaktion ab, wobei sich die Epoxidharze in Paste A mit den Diaminen in Paste B zu Epoxidaminen verbinden (s. Tab. 2).

<i>AH Plus Paste A</i>	<i>AH Plus Paste B</i>
Bisphenol-A-Epoxidharz	Aminoadamantan
Calciumwolframat	Dibenzyl-Diamin
Zirkoniumoxid	Tricyclodecan-Diamin
Aerosil	Calciumwolframat
Eisenoxid	Zirkoniumoxid
	Aerosil
	Silikonöl

Tab. 2: Inhaltsstoffe von *AH Plus*

Apexit Plus

Bei *Apexit Plus* (Ivoclar Vivadent, Ellwangen) handelt es sich um einen Sealer auf Kalziumhydroxidbasis. Das Zweikomponenten-System ist in einer selbstmischenden Doppelkammerspritze gebrauchsfertig dosiert, wodurch ein manueller Mischvorgang entfällt.



Abb. 5: Kalziumsalizylat-Sealer *Apexit Plus*

Apexit Plus härtet durch eine Chelatbildung zwischen Kalzium-Ionen der Basispaste und in der Aktivatorpaste enthaltenem Disalicylat aus (s. Tab. 3). Aufgrund der Freigabe von Kalziumhydroxid-Ionen während des Abbindevorgangs kommt es zu einem initialen antibakteriellen Effekt.

<i>Apexit Plus (Base)</i>	<i>Apexit Plus (Aktivator)</i>
Kalziumhydroxid	Disalicylat
Kalziumoxid	Bismuthydroxid
Kollophoniumhydrat	Bismutcarbonat
Füller und andere Hilfsstoffe	Füller und andere Hilfsstoffe

Tab. 3: Inhaltsstoffe von *Apexit Plus*

GuttaFlow

Bei *GuttaFlow* (Coltène/Whaledent, Langenau) handelt es sich um ein Zweikomponenten-Kaltfüllsystem aus einer Polymethylsiloxanmatrix, in der feinst gemahlene Guttaperchapartikel mit einer Korngröße $< 30 \mu\text{m}$ angereichert sind (s. Tab. 4, S. 37). Zudem enthält GuttaFlow Nanosilber als antibakteriellen Zusatz, um eine bakterielle Besiedlung zu verhindern.

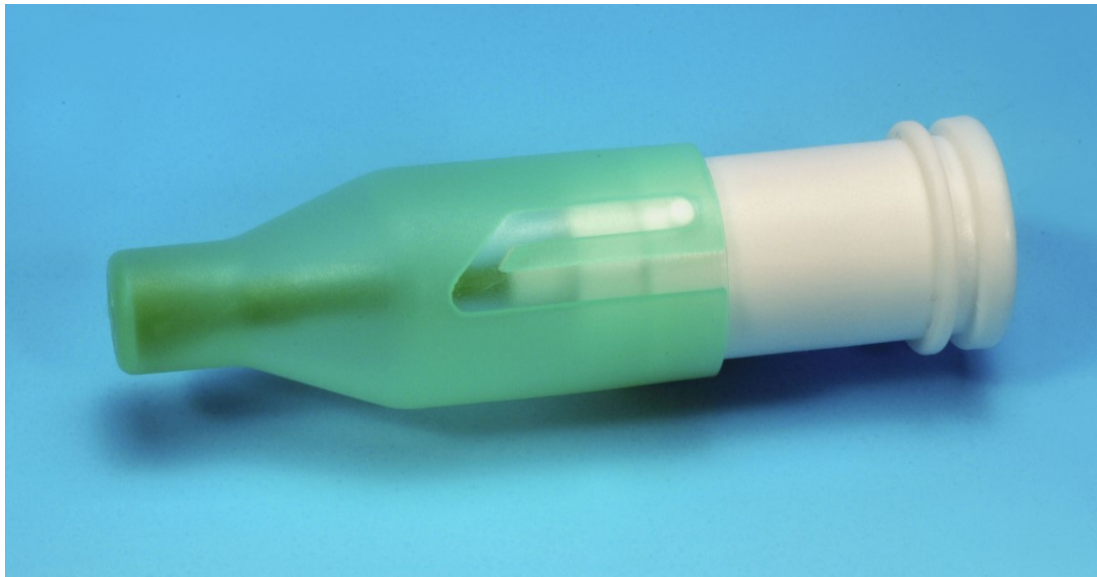


Abb. 6: *GuttaFlow*-Kapsel



Abb. 7: *GuttaFlow*-Dispenser mit eingesetzter *GuttaFlow*-Kapsel und Kanüle

GuttaFlow wird in Kapseln geliefert, welche in einem Triturator für 30 s aktiviert werden müssen. Das Material kann anschließend mittels eines speziellen Dispensers appliziert werden.

Der in der Studie verwendete *GuttaFlow* Primer (Coltène Endo) besteht aus den 2 Komponenten GF-Primer A (LOT 090220-Bar/1) und GF-Primer B (LOT 090220-Bar/2), welche im Verhältnis 1:1 anzumischen sind. Über den Primer sind keine weiteren Informationen vom Hersteller erhältlich, da es sich zum Zeitpunkt der Studie um ein rein experimentelles Material handelte, das nicht für den klinischen Gebrauch zugelassen war.

Guttapercha-Komponente	Sealer-Komponente
	Polydimethylsiloxan
	Silikonöl
	Paraffinöl
Guttaperchapulver	Platinkatalysator
	Zirkondioxid
	Nanosilber
	Farbstoff

Tab. 4: Inhaltsstoffe von *GuttaFlow*

Hybrid Root Seal

Hybrid Root SEAL (Sun Medical, LTD. Moriyama, Shiga, Japan) ist ein selbstätzender, dualhärtender Sealer auf Methacrylatbasis. Die beiden Komponenten Pulver und Flüssigkeit werden in einem Verhältnis von 1 Löffel Pulver zu 3 Tropfen Flüssigkeit manuell angemischt.

Hybrid Root Seal enthält das Adhäsivmonomer 4-META (s. Tab. 5), welches das Wurzelkanalentin demineralisiert und laut Herstellerangaben eine Hybridschicht zwischen Sealer und Kanalwand ausbilden soll.

Flüssigkeit	Pulver
Monomethacrylate	Zirkoniumoxid
HEMA	Amorphes Siliziumdioxid
4-META	Initiator
Dimethacrylate	

Tab. 5: Inhaltsstoffe des Wurzelkanalsealers *Hybrid Root SEAL*



Abb. 8: *Hybrid Root Seal*

5.2.2 Wurzelkanalfüllung in den einzelnen Gruppen

Vor der Obturation der Wurzelkanäle wurde jedes Testexemplar nochmals mit 2 ml Ethanol (70%) gespült. Anschließend erfolgte die Trocknung der Kanäle mit Papierspitzen .04/#40 (*Paper Points Antaeos .04*, VDW).

Für jeden Zahn wurde im Anschluss ein Guttapercha-Stift der Größe .04/#40 (*Guttapercha Antaeos 0.4*, VDW) auf Arbeitslänge markiert.

Gruppe 1: AH Plus

Paste A und B wurden nach Herstellerangaben im Verhältnis 1:1 manuell angemischt und mittels einer *EZ-Fill*-Spirale (Essential Dental Systems, South Hackensack, NJ, USA; Vertrieb: Loser, Leverkusen) und blauem Winkelstück (KaVo) in den Kanal eingebracht. Die auf Arbeitslänge eingepassten und markierten Guttapercha-Stifte wurden ebenfalls vollständig mit Sealer beschickt und anschließend im Kanal platziert.

Mit einem erhitzten Heidemannspatel wurde die Guttapercha am Kanaleingang abgetrennt und überschüssiges Sealmaterial wurde mittels Schaumstoffpellets (Voco) entfernt.

Gruppe 2: Apexit Plus

Apexit Plus wurde durch die dem System beigelegten Intra Canal Tips direkt im Wurzelkanal platziert und mittels *EZ-Fill*-Spirale nach apikal rotiert. Das weitere Vorgehen entspricht dem in Gruppe 1.

Gruppe 3: GuttaFlow mit GuttaFlow Primer

Komponente A und B des *GuttaFlow* Primers wurden wie vom Hersteller empfohlen im Verhältnis 1:1 für 5 s vermengt und mittels einer *CanalBrush* (Coltène Endo) im Kanal aufgetragen. Überschüsse wurden durch Papierspitzen entfernt. Während der 30 s Einwirkungszeit des Dentinadhäsivs wurde parallel dazu eine *GuttaFlow* Kapsel in einem Triturator nach Herstellerempfehlung für 30 s angemischt. Anschließend

wurde der Sealer mit auf den *GuttaFlow* Dispenser aufgesetzten Intra Canal Tips in den Kanal gegeben und dieser mit einer *EZ-Fill*-Spirale nachbearbeitet. Auch hier wurde im Anschluss ein mit *GuttaFlow* beschickter Guttapercha-Stift auf Arbeitslänge eingebracht, abgetrennt und der Kanaleingang mit Schaumstoffpellets von Sealerresten gesäubert.

Gruppe 4: Hybrid Root SEAL (HRS)

3 Tropfen Flüssigkeit wurden nach Herstellerangaben mit einem Messlöffel Pulver mittels beigelegtem Kunststoffspatel vermischt und durch eine *EZ-Fill*-Spirale in die Wurzelkanäle einrotiert. Das weitere Vorgehen erfolgte wie oben beschrieben.

Zum Abschluss wurde das in den Kanal eingebrachte *Hybrid Root SEAL* von koronal für 40 s durch eine Polymerisationslampe (*Bluephase*) ausgehärtet.

Die Wurzeln aller 60 Testexemplare wurden nach dem Obturationsvorgang koronal mit *Cavit* (3M ESPE, Seefeld) verschlossen und im Anschluss feucht gelagert (37°C/100 % Luftfeuchtigkeit).

Bis zur ersten Revision wurde dabei ein Zeitraum von 2 Wochen eingehalten, um ein vollständiges Abbinden der verschiedenen Sealer zu gewährleisten.

5.3 Revision

Nach der Entfernung des koronalen *Cavit*-Verschlusses wurden die Wurzelkanäle aller 4 Gruppen in insgesamt 3 Schritten revidiert.

Revisionsschritt #1:

Im 1. Revisionsschritt erfolgte die Reinstrumentierung in der ursprünglichen Aufbereitungsgröße .04/#40. Hierfür wurden *EndoSequence* NiTi Instrumente (RealWorld Endo, Brasseler USA, Savannah, GA) in einer Crown-Down-Sequenz mit leichtem Druck nach apikal verwendet. Die Revision wurde dabei mittels eines VDW-Silver-Endomotors mit aufgesetztem Endodontie-Winkelstück (6:1 Übersetzung) bei 500 U x min^{-1} im „Dr's Choice“-Programm (Drehmoment: 100 g cm) durchgeführt. Während des Reinstrumentierungsvorgangs erfolgten Spülungen mit 5%igem Natriumhypochlorit und 40%iger Zitronensäure, um Debris und Füllungsmaterial aus dem jeweiligen Kanal zu entfernen. Der 1. Revisionsschritt wurde als abgeschlossen betrachtet, wenn die individuelle Arbeitslänge eines jeden Kanals mit einer *EndoSequence*-Feile .04/#40 erreicht war und durch das Instrument kein Obturationsmaterial mehr aus dem Kanal entfernt werden konnte, welches am Instrument anhaftete. Im Anschluss erfolgte eine Spülung entsprechend Spülprotokoll (Tab. 1, S. 33) und die Kanäle wurden mit Papierspitzen getrocknet.

Hierauf wurde die Verschraubung der Klötzchen gelöst und beide Hälften voneinander getrennt, um die Wurzelkanaloberfläche fotografisch zu dokumentieren. Dies erfolgte mithilfe einer an einem Stereo-Lichtmikroskop (Fa. Zeiss, *STEMI SV6*, Zeiss AG, Oberkochen) angebrachten digitalen Kamera (Nikon *D80*, Nikon Corp., Tokio, Japan). Auf diese Weise wurden mikroskopische Aufnahmen beider Wurzelhälften erstellt, die anschließend auf einen Computer übertragen und dort zur weiteren Bearbeitung und Auswertung gespeichert wurden. Beide Blockhälften wurden anschließend wieder miteinander verschraubt. Während der fotografischen Dokumentation wurden beide Wurzelhälften wiederum permanent feucht gehalten.

Revisionsschritt #2:

Der 2. Revisionsschritt erfolgte mit *EndoSequence*-Feilen der Größe .04/#45 analog der obigen Vorgehensweise.

Revisionsschritt #3:

Als 3. Schritt wurde die Revision in der Größe .04/#50 ebenfalls mit *EndoSequence* wie oben beschrieben durchgeführt.

Alle *EndoSequence*-Feilen kamen während des Revisionsprozesses in maximal 3 Wurzelkanälen zum Einsatz, bevor sie gegen neue Instrumente ausgetauscht wurden.

Dokumentation der benötigten Revisionszeit

Für alle 3 Revisionsschritte wurde die erforderliche Zeit vom Beginn der Instrumentierung bis zum Erreichen der jeweiligen individuellen Arbeitslänge mit einer Stoppuhr gemessen. Somit sollte ein Vergleich der Revidierbarkeit der verschiedenen Sealer hinsichtlich der benötigten Instrumentationszeit ermöglicht werden. Dabei wurde die für das Erreichen der Arbeitslänge, das Spülen, und das Trocknen des Wurzelkanals erforderliche Zeit ermittelt und für jeden Revisionsschritt aufaddiert. Somit sollten potenzielle Unterschiede bezüglich der Revisionsgeschwindigkeit detektiert werden.

5.4 Mikrofotografische Aufnahmen der Kanaloberfläche

Wie bereits oben erwähnt wurden nach jedem Revisionsschritt mittels einer an einem Stereo-Lichtmikroskop (*STEMI SV 6*) angebrachten digitalen Kamera (*Nikon D80*) Aufnahmen der Wurzelkanaloberflächen erstellt und auf einem Computer gespeichert. Durch Anlegen eines Lineals wurden jeweils beide Wurzelhälften in 3 Kanalabschnitte zu je 3 mm eingeteilt, um bei der folgenden Auswertung zwischen Füllungsresten im koronalen, mittleren und apikalen Bereich unterscheiden zu können. Für jedes der insgesamt 60 Testexemplare wurde dann bei beiden Wurzelhälften je eine Übersichtsaufnahme in 0,8-facher Vergrößerung und Aufnahmen der apikalen, mittleren und koronalen Kanalabschnitte in 2,5-facher Vergrößerung erstellt. Da ein Wurzelkanal keine plane Fläche ist, sondern eine Krümmung aufweist, waren im Schnitt 5 Aufnahmen pro Kanalabschnitt notwendig, um die Füllungsresten und das angelegte Lineal in den verschiedenen Ebenen scharf ablichten zu können (Abb. 9, S. 44).

Pro Zahn entstanden auf diese Weise in der Summe 96 Aufnahmen (Tab. 6). Insgesamt wurden also ca. 5800 digitale Bilder angefertigt, die auf einem Personal-Computer zur weiteren Bearbeitung gespeichert wurden.

		Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3	gesamt
Wurzelhälfte A	Übersicht	1	1	1	3
	apikal	5	5	5	15
	mittig	5	5	5	15
	koronal	5	5	5	15
Wurzelhälfte B	Übersicht	1	1	1	3
	apikal	5	5	5	15
	mittig	5	5	5	15
	koronal	5	5	5	15
					96

Tab. 6: Anzahl der mikroskopischen Aufnahmen pro Zahn

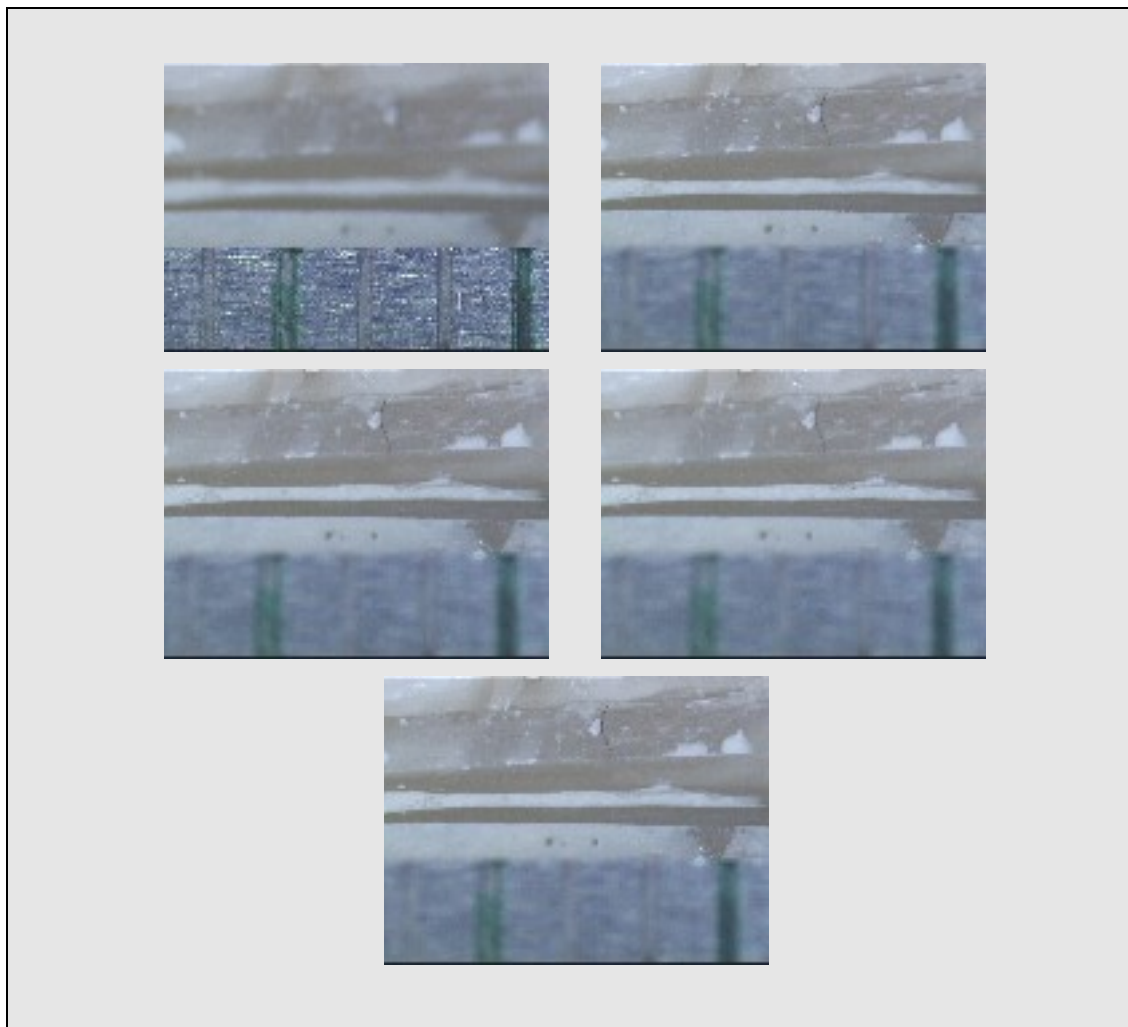


Abb. 9: Aufnahmesequenz eines koronalen Kanalabschnitts

5.5 Auswertung

5.5.1 Anfertigung von Ausgangsfotos mittels Helicon Focus

Die von jedem Kanaldrittel angefertigten Serienaufnahmen wurden nun jeweils zu einem Gesamtbild (s. Abb. 10, S. 45) zusammengefasst. Hierfür wurde das Programm *Helicon Focus 4.80* (Helicon Soft Ltd., Charkov, Ukraine) verwendet. *Helicon Focus* ist eine Software, die es ermöglicht, aus mehreren teilweise fokussierten Bildern ein einzelnes Bild mit maximaler Schärfentiefe zu erstellen. Dazu werden die jeweils scharf abgebildeten

Bereiche der verschiedenen Aufnahmen miteinander kombiniert, um ein komplett scharfes Bild zu erzeugen.

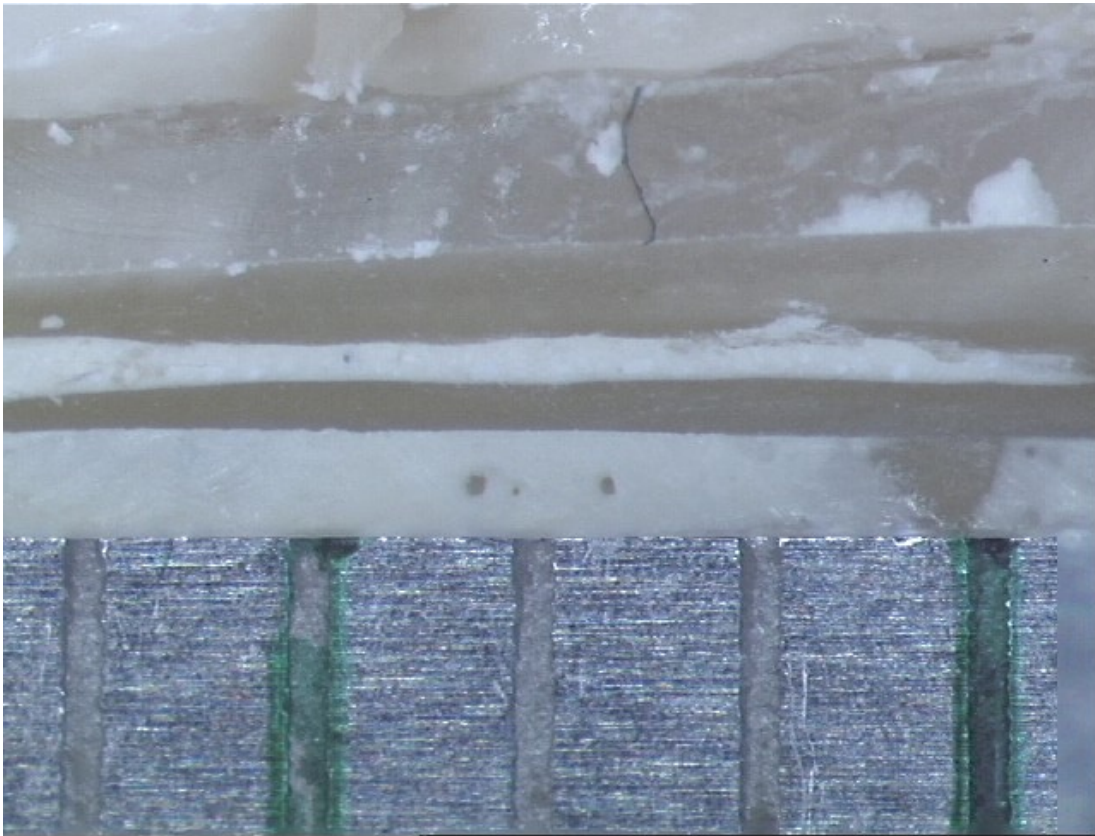


Abb. 10: Beispiel für ein mittels *Helicon Focus* erstelltes Gesamtbild, entstanden aus den Einzelaufnahmen aus Abb. 9, S. 44

Nach Durchsicht der erstellten Gesamtbilder zeigte sich in jeder der 4 Versuchsgruppen 1 Testexemplar, bei dem während der Revisionsprozesse eine Abweichung vom ursprünglichen Kanalverlauf erfolgt war. Dies ist mit aller Wahrscheinlichkeit auf den beim Trennvorgang der Wurzelhälften entstandenen Spalt zurückzuführen, so dass die Feile bei der Reinstrumentierung zwischen die beiden Hälften des Klötzchens und damit aus dem eigentlichen Wurzelkanal heraus gelangte.

Diese 4 Exemplare wurden aus der Studie ausgeschlossen, womit die endgültige Gruppenstärke auf $n=14$ festgelegt wurde.

5.5.2 Bestimmung der sealerbedeckten Kanaloberfläche

Die Menge an Sealer, welche nach dem jeweiligen Revisionsschritt noch die Kanaloberfläche bedeckte, wurde unter dem OP-Mikroskop mittels der *Leica Qwin*-Software (Leica Microsystems, Wetzlar) markiert. Somit wurde die mit Sealer bedeckte Fläche sowie die Gesamtfläche in Quadratmillimetern bestimmt. Anhand dieser Daten konnte für jeden Kanalabschnitt für jeden Revisionsschritt der prozentuale Anteil an sealer-bedeckter Oberfläche (*PRCS* = percentage of residue-coated canal surface) - analog zu einer im Jahr 2010 vorangegangenen Studie von Roggendorf et al. (70) - ermittelt werden. Diese Daten ermöglichten schließlich eine genaue Beurteilung der Revisionseffizienz.

5.6 Statistische Analyse

Die erhobenen Daten wurden mittels *SPSS* für Windows, Version 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) statistisch analysiert.

Folgende Testverfahren kamen dabei zur Anwendung:

- *Varianzanalyse mit Messwiederholung*
- *Post-Hoc*-Tests (*Scheffé*-Test)

Zur Auswertung der benötigten Revisionszeit kamen folgende Tests zum Einsatz:

- Univariate, einfaktorielle Varianzanalyse (*Oneway-ANOVA*)
- *Post-Hoc*-Tests (*Tamhane*-Test)

Das Signifikanzniveau wurde allgemein auf $p=0,05$ festgelegt.

6 Ergebnisse

Die Revisionseffizienz der verwendeten Sealer betreffend, stellten sich in der vorliegenden Studie vor allem folgende Fragen:

- Wie effektiv lassen sich adhäsive Sealer im Vergleich zu nicht adhäsiven Sealern bezüglich der verbleibenden Füllungsreste im Wurzelkanal revidieren?
- Gibt es dabei einen Unterschied bezüglich der benötigten Revisionszeit?

Zur Auswertung der erhobenen Daten wurde sowohl für die verbliebenen Füllungsreste, als auch für die benötigte Revisionszeit eine explorative Datenanalyse mittels *SPSS* für Windows, Version 16.0 durchgeführt. Im Rahmen dieser wurde zunächst eine deskriptive Statistik erstellt. Im Anschluss fand eine Analyse der hier gewonnenen Werte mithilfe jeweils geeigneter statistischer Testverfahren (induktive Statistik) statt.

6.1 Residuales Wurzelkanalfüllmaterial

Der prozentuale Anteil an mit Füllungsresten bedeckter Wurzelkanaloberfläche wurde für die 4 Versuchsgruppen jeweils nach jedem der 3 Revisionsschritte in allen 3 Kanalabschnitten einzeln ermittelt. Zur Übersicht sind die gewonnenen deskriptiven Daten (Mittelwert der Versuchsgruppe, Standardabweichung, minimaler Wert der jeweiligen Gruppe, maximaler Wert der jeweiligen Gruppe) in Tab. 7 (S. 92) im Anhang aufgelistet.

Aus den Mittelwerten wird deutlich ersichtlich, dass im Wurzelkanal verbleibende Residuen in jeder der 4 Versuchsgruppen und in jedem Kanaldrittel abnehmen, je höher der Wurzelkanal bei der Revision aufbereitet wurde. Die Revision über die ursprüngliche Aufbereitungsgröße hinaus führte

also mit jedem durchgeführten Revisionsschritt zu einer mit weniger Füllungsresten bedeckten Wurzelkanaloberfläche.

Die im Verhältnis meisten Reste in Bezug auf die Kanaldrittel fanden sich - bei Betrachtung aller Gruppen in den jeweils 3 Revisionsschritten - entweder im mittleren, noch häufiger allerdings im apikalen Kanalabschnitt.

Vergleicht man die Mittelwerte der 4 verwendeten Sealer in den einzelnen Revisionsschritten und innerhalb des jeweiligen Schrittes zusätzlich in den Kanaldritteln, so waren die größten verbleibenden Füllungsresiduen im Vergleich mit den anderen Sealern durchgängig für *Hybrid Root Seal* zu evaluieren. *AH Plus* erwies sich als Gruppe mit den zweithöchsten Werten. Die saubersten Wurzelkanaloberflächen fanden sich nach jedem Reinstrumentierungsvorgang in allen Kanalabschnitten in der *GuttaFlow*-Gruppe.

Boxplot-Diagramme, die im Rahmen der deskriptiven Statistik erstellt wurden verdeutlichen diesen Zusammenhang. Abb. 11 zeigt als Beispiel das Boxplot-Diagramm des apikalen Kanalabschnitts nach dem 3. Revisionsschritt:

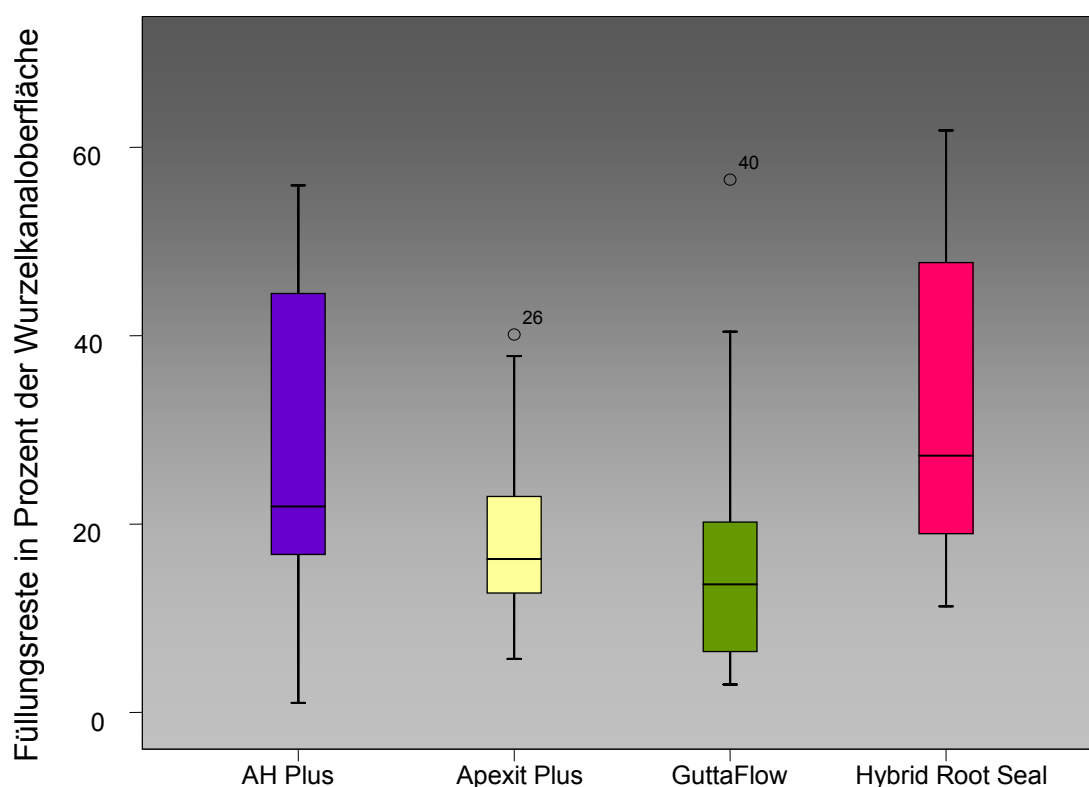


Abb. 11: Füllungsreste im apikalen Kanaldrittel nach dem 3. Revisionsschritt

Die oben beschriebenen, aus der deskriptiven Statistik entnommenen Beobachtungen, wurden nun auf Signifikanz überprüft (induktive Statistik). Das Signifikanzniveau wurde allgemein auf $p=0,05$ festgelegt. Als Analysemethode bot sich dabei das allgemeine lineare Modell an. In dessen Rahmen können unterschiedliche Vergleiche von abhängigen und unabhängigen Variablen kombiniert und ausgewertet werden. Da die abhängige Variable (=Zielvariable) immer die Messwerte enthält, wurde in der vorliegenden Studie die Menge an Füllungsresten als diese definiert. Als unabhängige Variablen (=Einflussvariablen) wurden zum einen die 4 Sealergruppen, zum anderen die 3 Revisionsschritte festgelegt.

Allgemein wird beim allgemeinen linearen Modell eine Varianzanalyse durchgeführt. Eine Varianzanalyse ist ein statistisches Verfahren zur Durchführung von Mittelwertvergleichen zwischen unterschiedlichen Gruppen. Für die vorliegende Studie war es sinnvoll, eine Varianzanalyse mit Messwiederholung heranzuziehen, da die abhängige Variable „Füllungsrest“ zu mehr als 2 Zeitpunkten (hier: 3 Revisionsschritte) analysiert werden sollte.

Durch die gewählte Analysemethode sollte also allgemein die Abhängigkeit der verbleibenden Füllungsreste sowohl von den Revisionsschritten, als auch von den Versuchsgruppen evaluiert werden.

Die Varianzanalyse wurde dabei jeweils für jedes Kanaldrittel einzeln erstellt. Ein direkter Vergleich der Füllungsreste in den einzelnen Kanalabschnitten wurde damit folglich nicht durchgeführt, das heißt, es wurde nicht auf Signifikanz hin untersucht, in welchem Kanaldrittel sich die jeweils meisten Füllungsreste befanden.

Ergebnisse (in allen 3 Wurzelkanaldritteln):

In jedem einzelnen Kanaldrittel nahmen die Füllungsreste signifikant mit den durchgeführten Revisionsschritten ab (ANOVA; $p < 0,05$).

Im apikalen und mittleren Drittel war die Interaktion zwischen den Revisionsschritten und den Sealergruppen signifikant in Bezug auf die Zielvariable „Füllungsrest“ (ANOVA; $p < 0,05$), d.h. die Versuchsgruppen verhielten sich im Verlauf der Revisionsschritte verschieden zueinander.

Im koronalen Kanalabschnitt war diese Interaktion nicht signifikant (ANOVA; $p > 0,05$).

Die im Wurzelkanal verbliebenen Füllungsreste waren signifikant abhängig vom verwendeten Sealer (ANOVA; $p < 0,05$).

Zur Verifizierung, zwischen welchen der 4 verwendeten Sealer konkret signifikante Unterschiede bestanden, wurden abschließend *Post-Hoc*-Tests durchgeführt. Diese ermitteln durch paarweise Mittelwertvergleiche aller möglichen Gruppenkombinationen, zwischen welchen Gruppenmittelwerten eine Signifikanz vorlag.

Im Speziellen wurde der *Scheffé*-Test zur Auswertung herangezogen. Dieser vergleicht Mittelwertpaare bei vorliegender Varianzhomogenität in allen untersuchten Gruppen.

Ergebnisse:**Koronales Wurzelkanaldrittel:**

Die Auswertung der Füllungsresiduen nach erfolgter Revision zeigte, dass der adhäsive Sealer *Hybrid Root SEAL* signifikant unsauberere Wurzelkanaloberflächen hinterließ als der konventionelle Sealer *Apexit Plus* (Scheffé; $p=0,016$) und das konventionelle *GuttaFlow* mit *GuttaFlow* Primer (Scheffé; $p=0,000$). Der konventionelle Sealer *AH Plus* zeigte signifikant mehr Füllungsreste als *GuttaFlow* in Kombination mit *GuttaFlow* Primer (Scheffé; $p=0,013$).

Mittleres Wurzelkanaldrittel:

Das adhäsive *Hybrid Root SEAL* ließ sich schwieriger entfernen und hinterließ somit signifikant mehr Füllungsreste als der nicht-adhäsive Sealer *Apexit Plus* und *GuttaFlow* mit Primer (Scheffé; $p=0,000$).

Der konventionelle Sealer *AH Plus* zeigte signifikant mehr Residuen als *GuttaFlow* mit Primer (Scheffé; $p=0,034$).

Apikales Wurzelkanaldrittel:

Die Evaluation der Sealerreste ergab signifikante Unterschiede zwischen dem adhäsiven Sealer *Hybrid Root SEAL* und dem konventionellen Sealer *GuttaFlow* mit Primer (Scheffé; $p=0,004$).

Zwischen *Hybrid Root SEAL* und *Apexit Plus* bestanden im apikalen Wurzelkanalabschnitt keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Revisionseffizienz (Scheffé; $p=0,121$).

Auch konnte *GuttaFlow* mit Primer im Vergleich zu *AH Plus* nicht signifikant effektiver revidiert werden (Scheffé; $p=0,122$).

Sealerreste im koronalen Wurzelkanalabschnitt

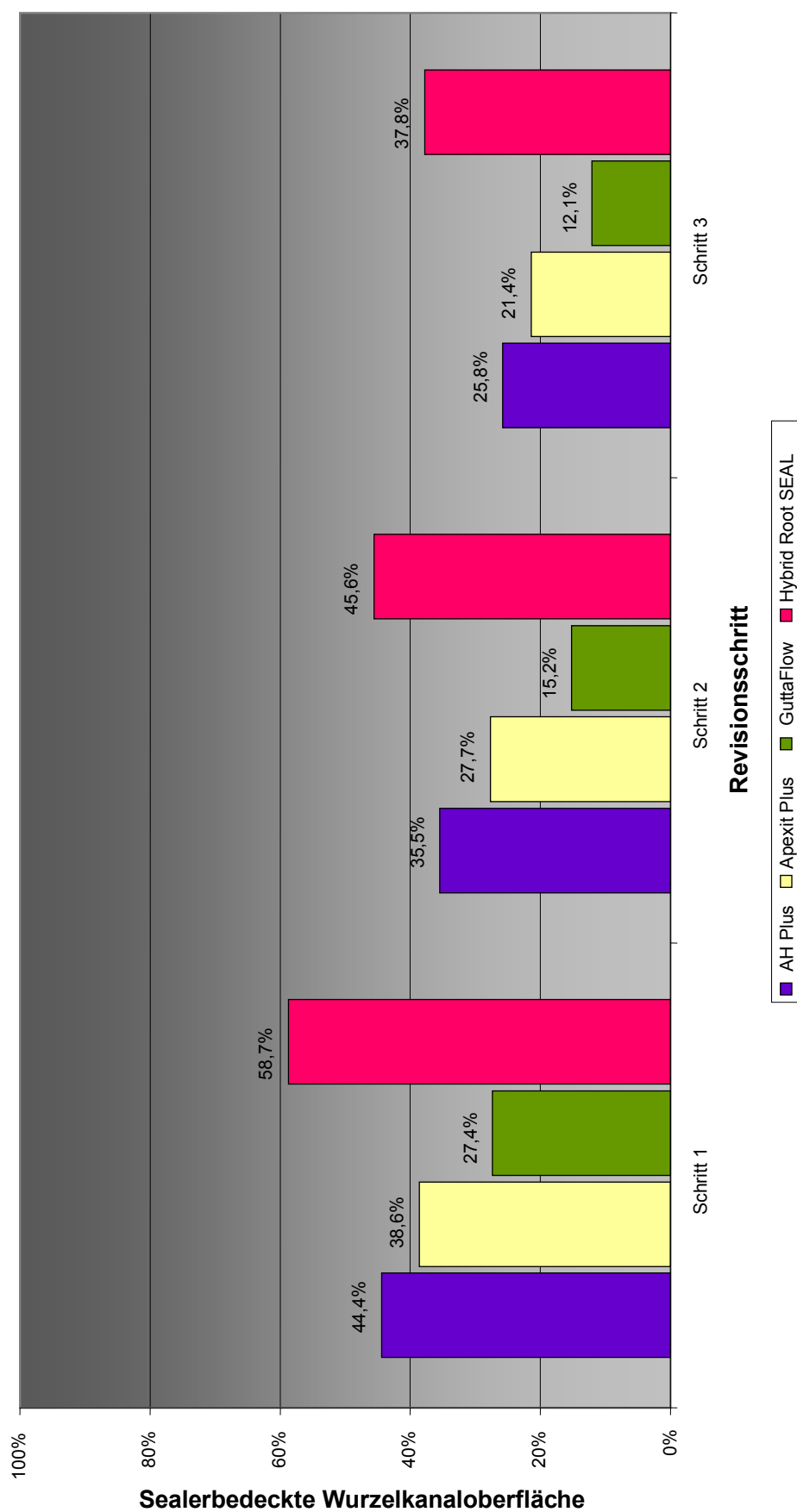


Abb. 12: Prozentualer Anteil von verbliebenem Wurzelkanalsealer im koronalen Wurzelabschnitt in allen 4 Gruppen

Sealerreste im mittleren Wurzelkanalabschnitt

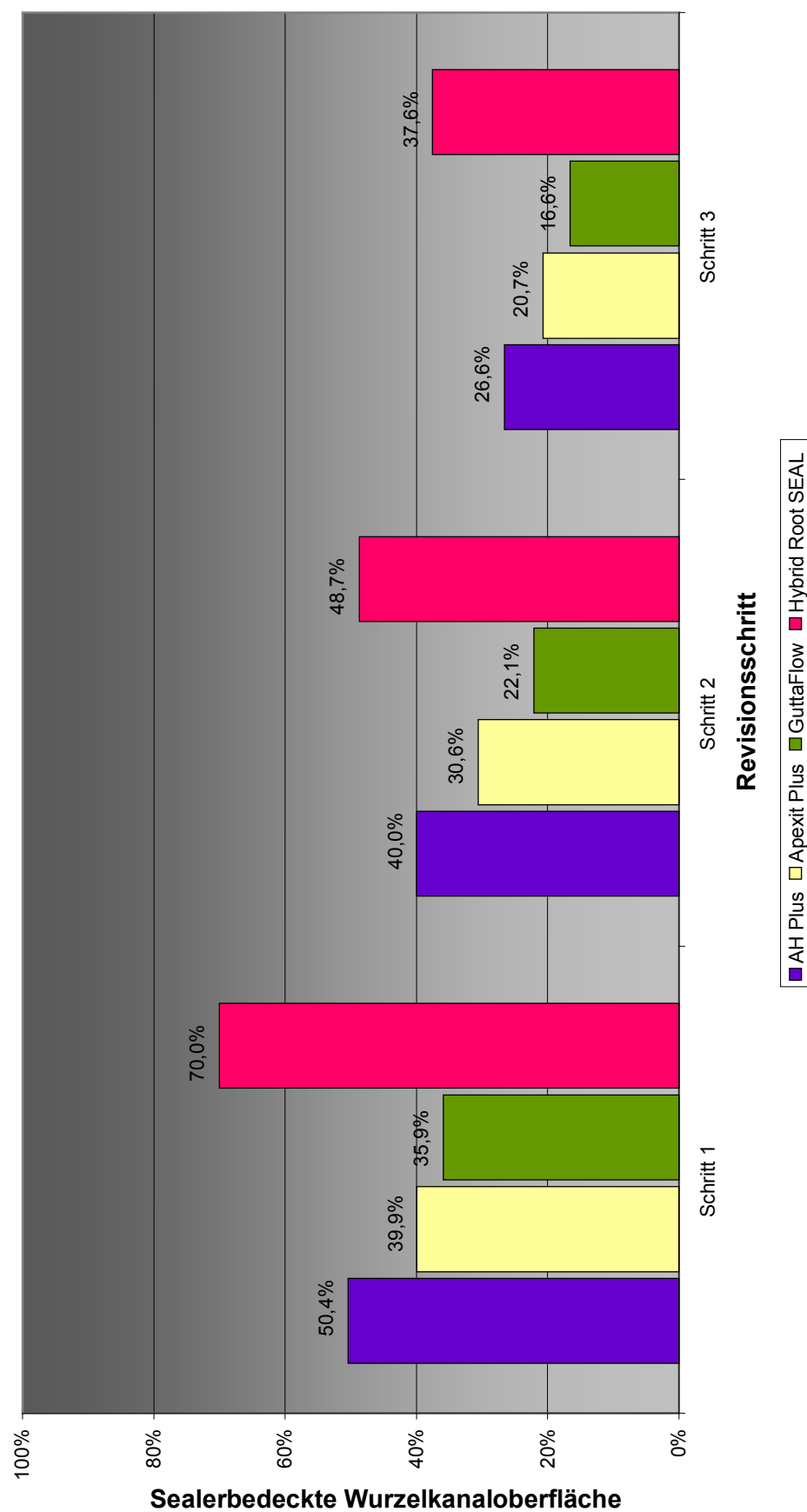


Abb. 13: Prozentualer Anteil von verbliebenem Wurzelkanalsealer im mittleren Wurzelkanalabschnitt in allen 4 Gruppen

Sealerreste im apikalen Wurzelkanalabschnitt

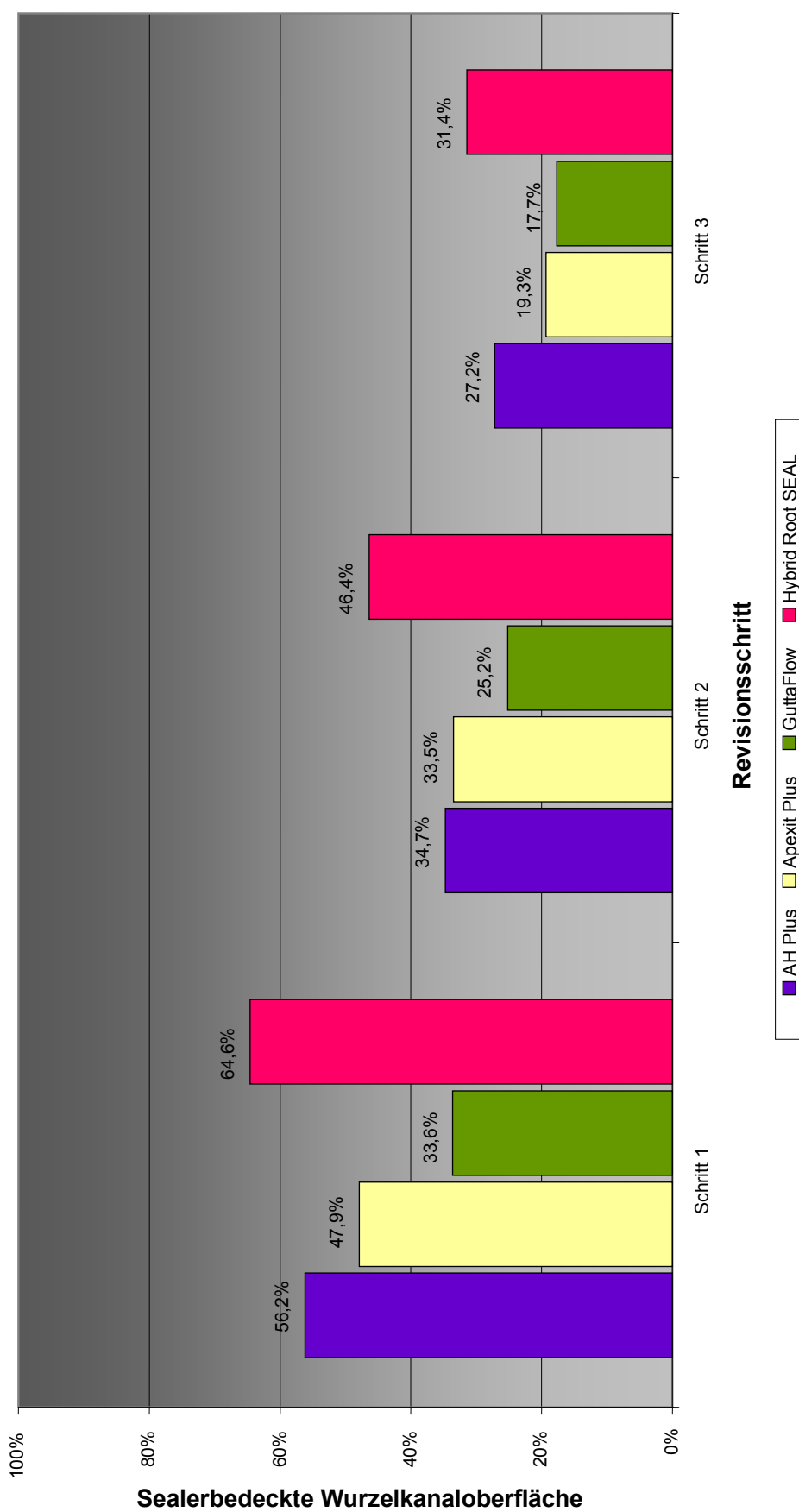


Abb.14: Prozentualer Anteil von verbliebenem Wurzelkanalsealer im apikalen Wurzelkanalabschnitt in allen 4 Gruppen

Die Abb. 12 bis 14 (S. 52-54) zeigen die Mittelwerte aller 4 Versuchsgruppen über die 3 Revisionsschritte hinweg. Verdeutlicht wird hier nochmals, dass in allen Sealergruppen der Betrag an verbleibendem Füllungsmaterial abnahm, je höher der Kanal aufbereitet wurde und dass der adhäsive Sealer *Hybrid Root SEAL* durchgängig die höchste Menge an verbliebenen Sealer-resten aufwies.

6.2 Revisionsdauer

Für jeden der 3 Revisionsschritte wurde die Zeit bis zum Erreichen der Arbeitslänge in den 4 Versuchsgruppen gemessen. Die ermittelten deskriptiven Daten (Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler gemessener Wert) finden sich übersichtsweise in Tab. 8 (S. 93) im Anhang.

Die längste benötigte Revisionszeit ergab sich für den adhäsiven Sealer *Hybrid Root SEAL* im 1. Revisionsschritt (s. Tab. 8, S. 93 und Abb. 15, S. 56). Zudem fiel hier eine im Vergleich deutliche, ca. 2- bis 4-fach höhere Standardabweichung auf. Während die minimal benötigte Revisionszeit ungefähr den anderen Sealergruppen entsprach, so waren wesentlich höhere maximale Zeiten nötig, um mit *Hybrid Root SEAL* gefüllte Wurzelkanäle bis auf Arbeitslänge reinstrumentieren zu können.

Bereits im 2. Revisionsschritt wurden für alle Sealergruppen ähnliche Mittelwerte gemessen. Die Standardabweichung für *Hybrid Root SEAL* lag noch etwa 2-fach über denen der konventionellen Sealer.

Im 3. Revisionsschritt zeigten alle Sealergruppen nahezu gleiche Mittelwerte und Standardabweichungen. Es waren hier also zwischen den Versuchsgruppen bezüglich der benötigten Revisionszeit keine Unterschiede mehr festzustellen.

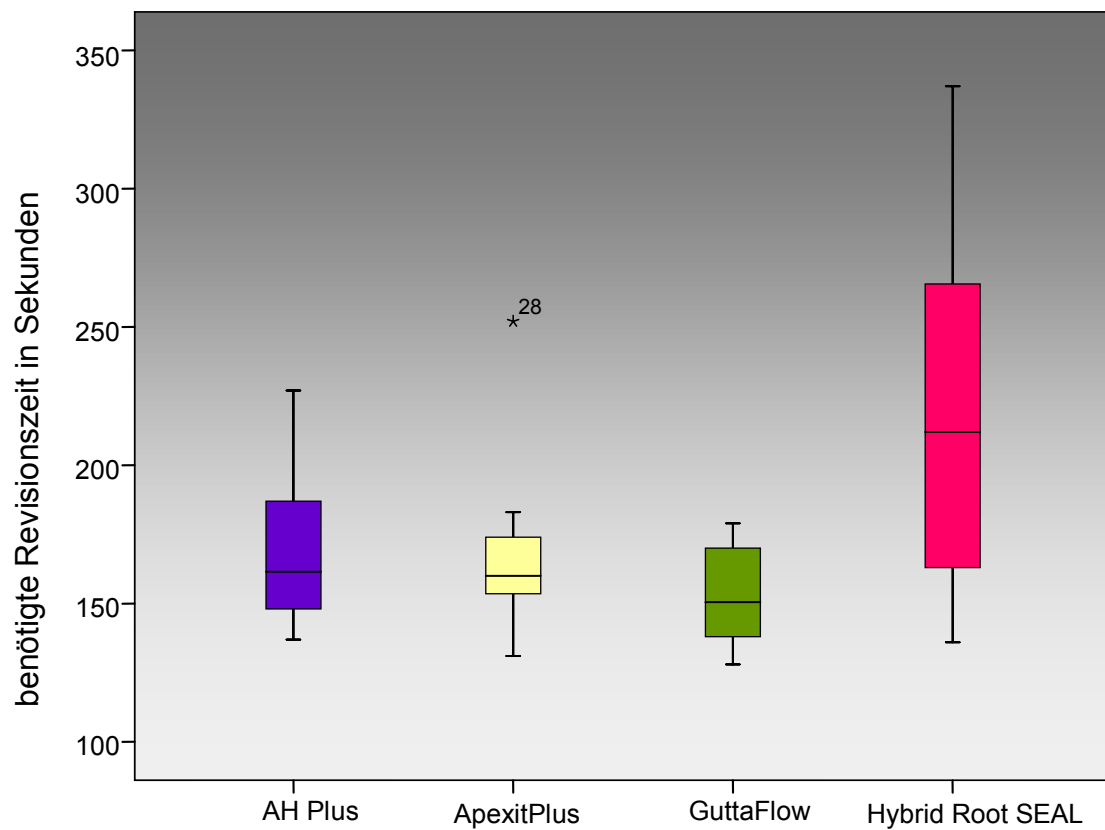


Abb. 15: Darstellung der erforderlichen Zeit zum Erreichen der Arbeitslänge im 1. Revisionsschritt (.04/#40)

Aufgrund der im 1. Revisionsschritt für einige Exemplare der *HRS*-Gruppe benötigten längeren Revisionszeiten, ergab sich für diese Gruppe auch insgesamt die höchste aufaddierte Gesamtdauer (s. Abb. 16, S. 57).

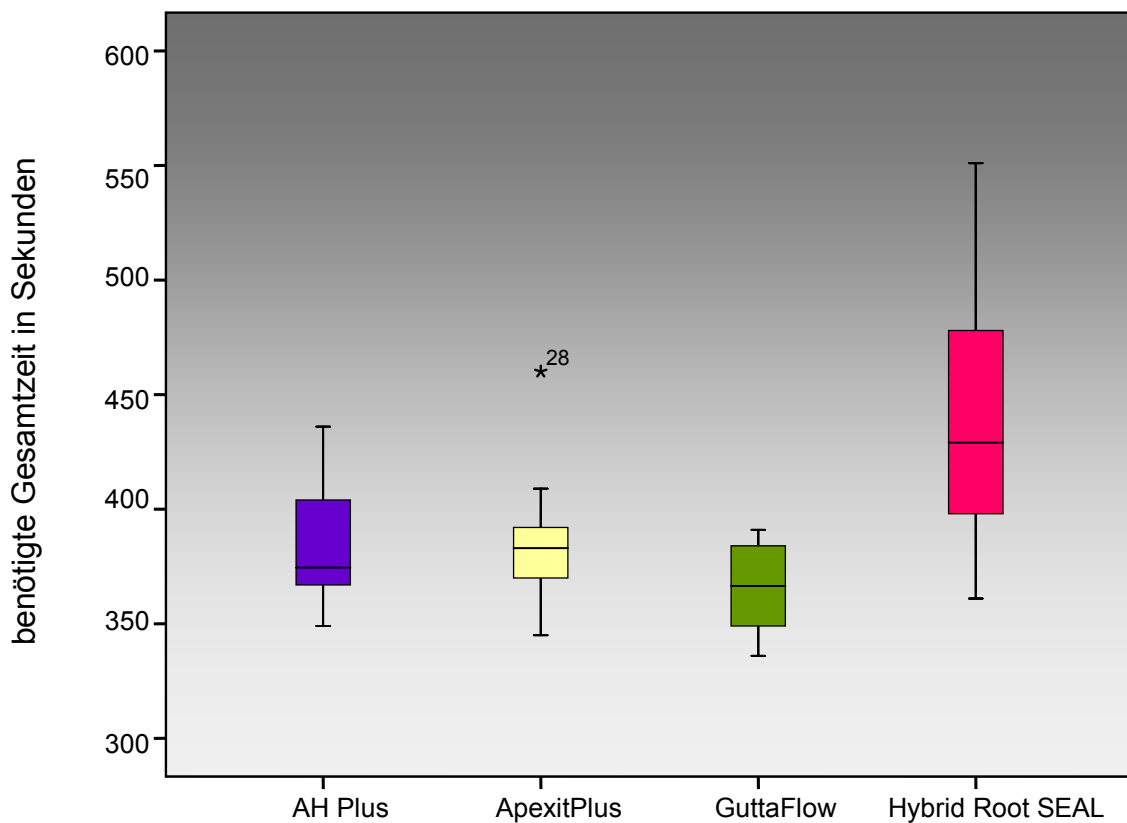


Abb. 16: Erforderliche Gesamtzeit nach Abschluss aller 3 Revisionschritte und erfolgter Instrumentierung von .04/#40 bis .04/#50

Mit Hilfe einer Varianzanalyse wurden die oben beschriebenen Beobachtungen nun auf Signifikanz hin überprüft. Das Signifikanzniveau wurde wiederum auf $p = 0,05$ festgesetzt. Konkret wurde eine univariate, einfaktorielle Varianzanalyse (auch: *Oneway-ANOVA*) durchgeführt. Eine *Oneway-ANOVA* ist geeignet, wenn ein einzelner Einflussfaktor, bestehend aus mehr als 2 unabhängigen Gruppen (hier: 4 Sealergruppen), auf eine Zielvariable (hier: benötigte Revisionszeit) hin untersucht werden soll.

Die einfaktorielle ANOVA wurde sowohl für die Gesamtzeit, als auch für die jeweiligen Mittelwerte der 3 einzelnen Revisionschritte durchgeführt.

Ergebnisse:**1. Revisionsschritt:**

Die zur Revision mit .04/#40 benötigte Zeit ist signifikant abhängig vom eingesetzten Sealer (*Oneway-ANOVA*; $p=0,000$)

2. und 3. Revisionsschritt:

Es besteht keine signifikante Abhängigkeit zwischen der benötigten Revisionszeit und dem jeweils verwendeten Sealer (*Oneway-ANOVA*; $p=0,359$ respektive $p=0,913$).

Gesamtzeit:

Ebenso wie im 1. Revisionsschritt, ist die für die 3 Revisionsschritte insgesamt benötigte Zeit signifikant abhängig vom verwendeten Sealer (*Oneway-ANOVA*; $p=0,000$).

Wie bereits bei der Analyse der verbliebenen Füllungsreste wurden abschließend *Post-Hoc*-Tests durchgeführt, um zu evaluieren, zwischen welchen Sealergruppen signifikante Unterschiede bezüglich des zur Revision benötigten Zeitfaktors bestanden.

Ergebnisse:**1. Revisionsschritt:**

Hybrid Root SEAL ist signifikant langsamer revidierbar als *GuttaFlow* in Kombination mit *GuttaFlow* Primer (*Tamhane*; $p=0,009$). Zwischen allen anderen Gruppenkombinationen bestehen keine signifikanten Unterschiede.

2. und 3. Revisionsschritt:

Es sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den 4 Sealergruppen zu evaluieren (*Tamhane*; $p>0,05$).

Gesamtzeit:

Betrachtet man die für die 3 Revisionsschritte insgesamt benötigte Zeit, so bestehen signifikante Unterschiede zwischen *Hybrid Root SEAL* und allen 3 konventionellen Sealergruppen. Zur Revision des adhäsiven Sealers *Hybrid Root SEAL* wird insgesamt signifikant mehr Zeit benötigt als für *AH Plus* (*Tamhane*; $p=0,019$), *Apexit Plus* (*Tamhane*; $p=0,023$) und *GuttaFlow* mit Primer (*Tamhane*; $p=0,002$).

Die eingangs gestellten Fragen lassen sich also folgendermaßen beantworten:

- Adhäsive Sealer hinterlassen mehr verbleibende Füllungsresiduen und sind damit schlechter revidierbar als konventionelle Sealer und konventionelle Sealer in Kombination mit einem experimentellen Primer.
- Zur Revision adhäsiver Sealer benötigt man zudem mehr Zeit als zur Revision konventioneller Sealer, bzw. konventioneller Sealer in Kombination mit einem experimentellen Primer.

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Methode

In der vorliegenden *In-vitro*-Studie wurde die Revisionseffizienz konventioneller, nicht-adhäsiver Sealer im Vergleich zu einem adhäsiven Sealer untersucht.

Als konventionelle Materialien wurden der epoxidharzbasierte Sealer *AH Plus* und das kalziumhydroxidbasierte *Apexit Plus* verwendet.

Als adhäsiver, methacrylatbasierter Sealer kam das selbstadhäsive Material *Hybrid Root SEAL (HRS)* zum Einsatz.

Als 4. Material wurde *GuttaFlow* als eigentlich konventioneller Sealer auf Silikonbasis in Kombination mit einem experimentellen Primer im Wurzelkanal befestigt.

Auswahl der Probenzähne

Um möglichst identische Wurzelkanalanatomien als Ausgangsbasis für die Aufbereitungs- und Revisionsvorgänge zu erhalten, wurden für die vorliegende Studie ausschließlich humane Incisivi des Unterkiefers verwendet. Zum Ausschluss des Vorhandenseins eines 2. Wurzelkanals oder starker Kanalvariabilitäten, wie etwa eines ausgeprägten Kanallumens in orovestibulärer Richtung, wurden nach der Aufbereitung Röntgenaufnahmen angefertigt und entsprechend ausgewertet. Hierbei wurden alle Röntgenbilder dahingehend beurteilt, dass das Kanallumen in allen Kanalabschnitten in seiner Ausdehnung nicht die Konizität des abschließenden Aufbereitungsinstruments übertraf. Eine möglicherweise dennoch vorhandene Variabilität in der Kanalgeometrie der instrumentierten Zähne konnte durch die Anzahl der Zähne pro Gruppe (n=14) sicher ausgeglichen werden.

Aufgrund der Tatsache, dass der Zahnerhalt heute einen sehr hohen Stellenwert in der zahnärztlichen Therapie innehat, sind humane Zähne weniger gut verfügbar, so dass es recht zeitaufwändig war, an extrahierte,

humane Zähne zu gelangen, welche die Bedingungen für diese Studie erfüllten. Somit war es unvermeidbar, dass Zähne unterschiedlichen Alters zur Anwendung kamen. Bekanntermaßen können Alterserscheinungen des Dentins - wie z.B. eine Sklerosierung der Dentinkanälchen (s. S. 18) - bei der Verwendung adhäsiver Systeme zu einem verminderten Haftverbund derselben führen, da nur geringere Hybridschichten gebildet werden können (24). Auch diesem Problem wurde durch die randomisierte Verteilung der Zähne auf die verschiedenen Gruppen, sowie durch die große Gruppenstärke begegnet.

Waren nach der Dekapitation der Zahnkronen ovale Kanalquerschnitte erkennbar oder waren 2 Wurzelkanäle vorhanden, wurden diese Zähne von vorneherein aussortiert und durch geeignete Zähne ersetzt.

Aufbereitung der Wurzelkanäle

Diverse Studien (15, 77, 89) konnten zeigen, dass die maschinelle Aufbereitung den ursprünglichen Kanalverlauf besser zu erhalten vermag als eine manuelle Instrumentation mit Stahlinstrumenten.

Um zudem standardisierte Wurzelkanalformen nach der Aufbereitung zu erhalten, wurde das vollrotierende maschinelle Nickel-Titan System *FlexMaster* (VDW, München) in Kombination mit einem drehmomentbegrenzenden Endomotor (*VDW.Silver*) verwendet. Durch die Aufbereitung aller Zähne bis zur Größe .04/#35 wurden gleiche Ausgangsbedingungen für alle Probezähne geschaffen.

Ziel war es dabei, kreisrund aufbereitete Wurzelkanäle zu erhalten. Bei einem nicht kreisrunden Kanal wäre der Abtrag an Füllungsmaterial während der Revisionsvorgänge nicht gleichmäßig, was zu Ergebnissen führen würde, die aufgrund der unterschiedlichen Kanalgeometrien nicht vergleichbar gewesen wären.

Wurzelkanalspülung

Während der Wurzelkanalaufbereitung wurden Wechsspülungen mit Natriumhypochlorit 5% und Zitronensäure 40% durchgeführt. Neben der Desinfektion und der Auflösung organischer Gewebereste sollte dadurch vor allem die Schmierschicht aus dem jeweiligen Wurzelkanal entfernt werden, da diese bekanntermaßen beim Belassen eine bakterielle Leakage von koronal oder apikal begünstigen kann (31, 76), (s. S. 12). Gerade bei der Verwendung adhäsiver Materialien erscheint dies von besonderer Bedeutung. Da adhäsive Sealer beim Aushärten einem Schrumpfungsprozess unterliegen, kann eine belassene Schmierschicht von der Kanalwand losgelöst werden. Die nur geringe Haftkraft des Smear layers zum darunterliegenden Dentin von ca. 5 MPa kann der materialbedingten Schrumpfung des Sealers nicht widerstehen. Die Entstehung von Spalten ist die Folge (21).

Zudem erscheint die Ausbildung einer suffizienten Hybridschicht bei vorhandener Schmierschicht fraglich (s. S. 18): In kürzlich veröffentlichten Studien (3, 53) konnte nachgewiesen werden, dass *HRS* nicht potent genug ist, Wurzelkanaldentin durch eine vorhandene Schmierschicht hindurch zu demineralisieren.

Nur wenn bei der Obturation des Wurzelkanals mit einem adhäsiven Sealer ein optimaler Haftverbund zum Wurzelkanaldentin erzielt werden kann, ist es möglich, dessen Revidierbarkeit korrekt beurteilen zu können. Eine in der Praxis unerwünschte, geringe Haftung würde vermutlich zu einer erleichterten Revidierbarkeit des Sealers führen. Die kombinierte Verwendung von Natriumhypochlorit und Zitronensäure hat sich als effektive Methode zur Smear layer Entfernung bewährt (65) und kam daher in der vorliegenden Studie zum Einsatz.

Es soll an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen werden, dass im Rahmen dieser Studie lediglich die Revidierbarkeit von Wurzelkanalsealern beurteilt werden sollte. Eine schlechtere Revidierbarkeit charakterisiert somit nicht etwa einen inadäquaten Wurzelkanalsealer. Diese Studie soll ausschließlich zeigen, wie sehr im Fall einer Revision die Wurzelkanaloberfläche von Sealer in Abhängigkeit von der Aufbereitungsgröße bedeckt ist.

Obturation der Wurzelkanäle

Alle Wurzelkanäle der 4 experimentellen Gruppen dieser Studie wurden mithilfe der Einstifttechnik obturiert. Dies steht im Gegensatz zu den meisten vorherigen Studien, die sich der Revidierbarkeit einer vorhandenen Wurzelkanalfüllung widmeten. Hier wurde in der Regel die Lateral-kompaktion oder eine Warmfülltechnik angewendet (5, 18, 22, 25, 26, 32, 39, 44, 61, 72, 81), da diese Methoden entsprechend der Literatur eine geringere Leakage zur Folge haben, als mit Single-Cone-Technik obturierte Zähne.

Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit sollte der Revidierbarkeit unterschiedlicher Sealertypen gelten. Die Schaffung einer die komplette Wurzelkanalwand bedeckenden Sealerschicht war hier also eine Voraussetzung, um verifizierbare Ergebnisse erhalten zu können und Unterschiede zwischen den verschiedenen Sealern feststellen zu können.

Die Verwendung der Lateralkompaktion kann dazu führen, dass Guttapercha beim Kondensieren an die Kanalwände gepresst wird und so unterhalb des Kernmaterials sealerfreie Bereiche entstehen (23, 104), da die Guttapercha in direkten Kontakt mit der Kanalwand tritt. Wu et al. (104) konnten zeigen, dass mit Einstifttechnik obturierte Wurzelkanäle einen signifikant höheren Prozentsatz mit Sealer bedeckter Oberfläche aufweisen als durch Lateral- oder vertikale Kompaktion obturierte Kanäle. Um die Sealerschicht trotzdem möglichst gering zu halten, wurde - entsprechend der Aufbereitung bis .04/#40 - Guttapercha mit Taper .04 eingesetzt.

Bei der Verwendung adhäsiver Sealersysteme gilt es zu beachten, dass die Anwendung von Warmfülltechniken zu nur gering ausgebildeten Hybrid-schichten führen kann (s. S. 18), (51, 62, 63). Eine erleichterte Revision dieser Sealer könnte die Folge sein.

Wegen der oben genannten Gründe war daher die Einstifttechnik in der vorliegenden Studie Mittel der Wahl.

Zwar wäre es naheliegend, den adhäsiven Sealer *Hybrid Root SEAL* zur Schaffung eines Monoblocks in Kombination mit dem Kernmaterial *Resilon* zu verwenden. Stoll et al. (90) konnten jedoch nachweisen, dass adhäsive Sealer der 4. Generation - wie *HRS* - ohne klinischen Nachteil bezüglich der Haftkraft ebenso mit Guttapercha kombiniert werden können (s. S. 16). Da

hier zudem das Interesse auf der Revidierbarkeit des Sealers und nicht der des Kernmaterials lag, wurden alle 4 Sealergruppen konventionell mit Guttapercha als Kernmaterial abgefüllt. Zudem wird diskutiert, dass *Resilon* aufgrund seines geringeren Schmelzpunktes leichter revidierbar sei als Guttapercha (s. S. 23), was bei der Verwendung unterschiedlicher Kernmaterialien in den einzelnen Gruppen wiederum zu ungleichen Ausgangsbedingungen geführt hätte.

Versuchsaufbau zur Evaluierung der verbleibenden Materialreste

Roggendorf et al. (70) konnten nachweisen, dass verbleibende Füllungsreste im Wurzelkanal erst dann signifikant abnehmen, wenn diese im Rahmen der Revision um 2 ISO Größen über die ursprüngliche Aufbereitungsgröße hinaus aufbereitet wurden (s. S. 25). Um dies untersuchen zu können, bedarf es eines geeigneten experimentellen Versuchsaufbaus. Dieser muss es ermöglichen, Materialreste zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Revisionsvorganges quantitativ bestimmen zu können. Untersuchungsmethoden der Vergangenheit erwiesen sich daher ungeeignet für die vorliegende Studie (s. S. 25, 26).

Roggendorf et al. (70) nutzten Micro-CT-Scans, um den geforderten Kriterien nachkommen zu können. Diese als äußerst präzise zu beurteilende, nichtinvasive Untersuchungsmethode zeigte jedoch auf, dass ein erheblicher finanzieller und zeitlicher Aufwand erforderlich war, um Daten zu erheben. Da die Mikrofotografie eine gut geeignete Technik zur Dokumentation der Sealerreste bei wiederholter Instrumentierung ist, wurde diese im Rahmen dieser Dissertation durchgeführt. Das von Hassanloo et al. (39) entwickelte Modell fand hierbei in modifizierter Weise Anwendung. Dort wurden die zu untersuchenden Wurzeln zunächst in Kunststoffblöcke eingebettet und anschließend der vertikalen Zahnachse entlang geteilt. Durch die Fixierung mit Stäben war es möglich, nun beide Blockhälften im Laufe der Revisionsvorgänge immer wieder auseinander- und zusammensetzen zu können. Zur Auswertung wurden digitale Fotos der Wurzelkanalhälften angefertigt und die Füllungsreste mittels einer Bildbearbeitungssoftware in Prozent der Wurzelkanaloberfläche ermittelt.

Im Gegensatz zum „Hassanloo-Modell“ wurden die Wurzeln in dieser Studie zunächst geteilt und erst anschließend eingebettet. Damit war es möglich, die Wurzelkanäle präzise in der Mitte des Kanalverlaufs zu teilen. Hätte die Teilung nicht mittig stattgefunden, wären Überhänge entstanden und Füllungsreste unter diesen Überhängen hätten auf den im Anschluss angefertigten digitalen Aufnahmen nicht erfasst werden können, was zu ungenauen Ergebnissen geführt hätte. Zudem wurden in dieser Dissertation alle Wurzelkanäle nach dem Teilungsvorgang nochmals mit Feilen der Größe .04/#40 nachinstrumentiert. Damit wurde der durch den Trennsplatt entstandene Materialverlust weitestgehend ausgeglichen und es konnte wieder von kreisrunden Wurzelkanälen als Ausgangsbasis ausgegangen werden.

Revision

Nach der Obturation wurde bis zum 1. Revisionsschritt eine Zeitspanne von 2 Wochen eingehalten. Dies sollte sicherstellen, dass die Sealer zum Beginn der Revisionsvorgänge vollständig abgebunden waren.

Die Revision selbst erfolgte in Anlehnung an Roggendorf et al. (70) in 3 Revisionsschritten - 2 Größen über die ursprüngliche Aufbereitungsgröße hinaus - (s. S. 27).

Zur Revision wurden maschinell betriebene, rotierende Nickel-Titan (NiTi) Instrumente eingesetzt. In der Vergangenheit wurden Wurzelfüllungen zumeist per Hand mit Stahlinstrumenten revidiert. Heutzutage sind Nickel-Titan Instrumente jedoch als Revisionsmethode allgemein anerkannt, auch wenn sie ursprünglich zur Aufbereitung von Wurzelkanälen entwickelt wurden (s. S. 20).

Die verwendeten *EndoSequence*-Feilen erschienen für die vorliegende Studie als besonders geeignet (s. S. 21, 22). Häufig sind heute erhältliche NiTi-Systeme nur bis zur einer Feilengröße bis ISO 40 erhältlich und weisen keinen durchgängig gleichen Taper der einzelnen Feilen auf. Für diese Dissertation wurden Feilen der Größen .04/#40, .04/#45 und .04/#50 benötigt. Das *EndoSequence*-System verfügt hierüber. Auch Roggendorf et al. (70) nutzten *EndoSequence*-Instrumente zur Revision. Da diese Arbeit als Vorgängerstudie zur vorliegenden Dissertation verstanden werden muss, war

es naheliegend, auch hier *EndoSequence* zu verwenden. Der zentrale Guttaperchastift konnte bei Roggendorf et al. (70) durch *EndoSequence* so effektiv entfernt werden, dass in keinem der zu untersuchenden Wurzelkanäle Reste an Kernmaterial ermittelt werden konnten. Da hier nur verbleibende Sealerreste von Interesse waren, war eine vollständige Entfernung des Kernmaterials also wünschenswert.

In vorherigen Studien wurde häufig das Lösungsmittel Chloroform als Guttapercha erweichendes Adjuvanz bei der Revision verwendet (18, 22, 25, 26, 27, 61, 72). Hierauf wurde in der vorliegenden Studie bewusst verzichtet, da nicht auszuschließen war, dass die verschiedenen Sealer unterschiedlich auf die Verwendung von Chloroform reagieren und dadurch keine gleichen Ausgangsbedingungen in den Versuchsgruppen vorgelegen hätten. In vorherigen Studien stand zudem zur Diskussion, dass durch Chloroform erweichte Guttapercha beim Revisionsvorgang über die Wurzelkanaloberfläche verschmiert werden kann (36, 42, 72). Auch dies wäre hier unerwünscht gewesen.

Auswertung der Füllungsreste

Bei der Auswertung der verbliebenen Füllungsreste wurde zur praktischen Erleichterung nicht zwischen Guttapercha- und Sealermaterial unterschieden. Dies steht im Gegensatz zur eigentlichen Aufgabenstellung dieser Dissertation, lediglich Reste an Sealer zu evaluieren. Durch die Anwendung der Einstifttechnik konnte jedoch davon ausgegangen werden, dass unter verbliebener Guttapercha auch eine Sealerschicht vorhanden ist, womit Guttaperchareste Sealerresten gleichzusetzen waren. Im Übrigen wurden alle Vorkehrungen getroffen, um den zentralen Guttaperchastift von vorneherein komplett vollständig zu entfernen (s. oben: Verwendung von *EndoSequence*, kein Gebrauch eines Lösungsmittels). Für nahezu alle Probezähne konnte das Kernmaterial tatsächlich in Spiralen um die Feile gewunden entfernt werden. Reste waren nur in wenigen Exemplaren der *HRS* Gruppe zu evaluieren. Vorherige Studien kamen zu einem ähnlichen Ergebnis: Auch hier war die Mehrheit der verbliebenen Reste als Sealer und nicht als Guttapercha identifizierbar (5, 36, 101).

7.2 Diskussion der Ergebnisse

Ebenso wie in allen Revisionsstudien der Vergangenheit, die sich der Revidierbarkeit verschiedener Wurzelfüllmaterialien oder variierender Revisionstechniken widmeten (9, 22, 25, 26, 27, 36, 39, 61, 70, 72, 81, 93, 101), konnte auch in der vorliegenden Studie keines der verwendeten Materialien vollständig aus den Wurzelkanälen entfernt werden. Ebenfalls verblieben die meisten Füllungsreste - wie in vorherigen Studien beschrieben - in der Mehrheit im apikalen Wurzel Drittel (9, 18, 22, 25, 26, 27, 39, 44, 61, 70, 72, 81, 101).

Die These, dass ein Enlargement von 2 ISO Größen über die Aufbereitungsgröße hinaus zu signifikant weniger verbleibenden Füllungsresten führt (39, 70), konnte auch in der vorliegenden Studie - sowohl für die konventionellen als auch die adhäsiven Sealer - für jedes Kanaldrittel bestätigt werden.

Allerdings ergaben sich in Bezug auf die Vorgängerstudien Unterschiede bezüglich der Größenordnung der verbliebenen Residuen. Nach dem 3. Revisionsschritt wurden in der vorliegenden Dissertation, je nach verwendetem Sealmaterial, 18 - 31 % Füllungsreste im apikalen Wurzelkanaldrittel beobachtet (*AH Plus*: 27 %, *Apexit Plus*: 19 %, *GuttaFlow*: 18 %, *HRS*: 31 %).

Hassanloo et al. (39) ermittelten im Gegensatz hierzu für *AH Plus* einen Wert von 16 % ohne den adjuvanten Einsatz eines Lösungsmittels (mit Lösungsmittel sogar nur 6 % Füllungsreste). Dieser niedrigere Wert könnte durch die unterschiedlichen Versuchsaufbauten bedingt sein. Während hier mit Single-Cone-Technik obturiert wurde, wendeten Hassanloo et al. die laterale Kompaktion an. Wie bereits erwähnt, kann dies zu sealerfreien Bereichen im Wurzelkanal führen (s. S. 62). Da das Kernmaterial an sich im Allgemeinen sehr effektiv entfernbar ist und nur wenige Residuen davon verbleiben (5, 36, 101), ergab sich hieraus anscheinend ein Vorteil gegenüber der vorliegenden Studie. Zudem wurde der Wurzelkanal bei Hassanloo et al. nach dem Teilungsvorgang der Probeexemplare nicht nochmals mit der letzten Feilengröße nachinstrumentiert. Der hieraus mit Sicherheit entstandene Materialverlust - charakterisiert durch eine

Minimierung des Kanalquerschnitts - dürfte zu einem höheren Abtrag des Füllmaterials und der Kanalwände geführt haben.

Roggendorf et al. (70) konnten in der direkten Vorgängerstudie zur vorliegenden Arbeit nach dem letzten Revisionsschritt Werte von unter 0,3 % Residuen für konventionelle Sealer im apikalen Wurzeldrittel erreichen. Um dieses herausragende Ergebnis möglichst wiederholen zu können und um eine Vergleichbarkeit beider Arbeiten zu gewährleisten, wurde der Versuchsaufbau bewusst nahezu identisch angelegt (z. B. Obturation mit Single-Cone Technik und Guttapercha entsprechender Größe und Konizität als Kernmaterial; Revision mit *EndoSequence* aufsteigend mit .04/#40, .04/#45, .04/#50; kein Einsatz eines Lösungsmittel bei der Revision). Trotzdem wurden hier weitaus schlechtere Werte erzielt. Zwar lässt sich keiner der bei Roggendorf et al. verwendeten Sealer mit einem in dieser Studie verwendeten Sealer aufgrund der unterschiedlichen Materialgruppen direkt vergleichen, jedoch wurden hier für *Apexit Plus* (Kalziumhydroxidbasis) Werte von durchschnittlich 19 % ermittelt, während Roggendorf et al. für *Active GP* (Glasionomierzementbasis) einen Wert von unter 0,2 % erzielen konnten. Insbesondere dürfte dies durch die unterschiedliche Technik zur Beurteilung der aufbereiteten Wurzelkanäle begründet sein. Bei Roggendorf et al. war eine äußerst präzise Beurteilbarkeit der Form der Wurzelkanäle durch die noninvasive Untersuchungstechnik möglich. Nach der Aufbereitung konnten durch die Anfertigung von Micro-CT-Scans alle Wurzeln mit lateralen Ausbuchtungen oder ovalen Kanalquerschnitten von der Untersuchung ausgeschlossen werden. In die Studie wurden also nur über die komplette Kanallänge ideal kreisrund geformte Kanäle einbezogen. Dies war im Rahmen der vorliegenden Dissertation nicht möglich, da lediglich die Kanalform am koronalen Eingang optisch kontrolliert werden konnte. Die formkongruente Passung des Wurzelkanalfüllstiftes entlang des Kanalverlaufes konnte nur durch Röntgenbilder in 2 Ebenen überprüft werden. Bedingt durch die in den Wurzelkanalfüllstiften enthaltenen Röntgenkontrastmittel und das Auflösungsvermögen des digitalen Sensors konnten Inkongruenzen nur bedingt erkannt werden. So konnte nicht sicher vermieden werden, dass Probezähne mit Irregularitäten der Form entlang des Kanalverlaufes in der Studie Verwendung fanden. Eben diese Bereiche

könnten auch noch bei einer Revision mit ISO 50 uninstrumentiert geblieben sein, worauf der weit höhere Betrag an verbliebenen Sealerresten und auch die stets hohe Standardabweichung innerhalb der Versuchsgruppen (z. B. Füllungsreste *AH Plus* nach 1. Revisionsschritt im apikalen Wurzeldrittel: $56,16 \pm 21,11$ %) zurückzuführen sein könnte. Auch ist hierdurch erklärbar, warum der größte Betrag an Resten auch manchmal im mittleren anstatt wie zu erwarten im apikalen Kanalabschnitt auszumachen war: Auf den angefertigten mikroskopischen Bildern der Kanaldrittel waren häufig im mittleren Bereich mit Sealer gefüllte laterale Ausbuchtungen erkennbar.

Insgesamt konnten Roggendorf et al. durch eine Zunahme der Aufbereitungsgröße von 2 ISO-Größen eine Reduktion der Füllungsreste um das 10-fache des Ausgangsbetrages für konventionelle Sealer unter idealisierten Bedingungen (standardisierte, ideal kreisrunde Wurzelkanäle) erreichen.

Im Rahmen dieser Studie war es jeweils möglich, den Betrag an Füllungsresten im Laufe des Revisionsprozesses zu halbieren: dies galt sowohl für die konventionellen, als auch für die adhäsiven Sealmaterialien. Allerdings ergab die statistische Analyse der ermittelten Werte, dass die Revisionseffizienz auf dem hier erreichten höheren Niveau signifikant abhängig vom verwendeten Sealer war. Die Entfernung der Wurzelkanalfüllung war bei mit *HRS* obturierten Kanälen im Vergleich zu den anderen experimentellen Gruppen am wenigsten effizient: Es verblieben unabhängig vom Revisionsschritt in jedem der Wurzelkanaldrittel die meisten Residuen (31 % am Ende des Revisionsprozesses im apikalen Wurzeldrittel) und es wurde die signifikant längste Gesamtzeit zur Revision benötigt.

Der konventionelle, epoxidharzbasierte Sealer *AH Plus* erreichte ähnlich hohe Werte an verbliebenem Füllungsmaterial (27 % apikal). Es bestanden unabhängig vom betrachteten Wurzelkanaldrittel und Revisionsschritt keine signifikanten Unterschiede zum selbstadhäsiven *HRS*. Durch die im Vergleich zu anderen konventionellen Sealern erhöhte Adhäsion epoxidharzbasierter Sealer ans Wurzelkanaldentin (s. S. 9), wird vermutet, dass diese auch schwieriger revidierbar sind (26). Dadurch nehmen diese

unter den konventionellen Materialien gewissermaßen eine Sonderstellung ein, wodurch die hier für *AH Plus* erzielten Ergebnisse durchaus erklärbar sind. Bereits in vorherigen Studien wurde *AH Plus* aufgrund der hohen Haftwerte ans Wurzelkanaldentin gerne als Referenz zum Vergleich gegen adhäsive Sealersysteme der 3. Generation eingesetzt (18, 22, 39, 81).

Der zweite in dieser Studie verwendete konventionelle Sealer *Apexit Plus* hinterließ im Gegensatz dazu erwartungsgemäß deutlich weniger Füllungsreste (19 % apikal). Hier ist - wie auch bei anderen konventionellen Sealern - mit geringeren Haftkräften (< 3 MPa) des Materials zum Wurzelkanaldentin zu rechnen (19, 31, 52, 70, 73), woraus im Umkehrschluss eine verbesserte Revidierbarkeit möglich ist. Im koronalen und mittleren Kanalabschnitt ergaben sich demnach signifikante Unterschiede gegenüber dem adhäsiven *HRS*. Im apikalen Abschnitt waren die Unterschiede nicht signifikant, betrug aber immerhin 12 % Unterschied an verbliebenen Füllungsresten.

Adhäsive Sealer der 3. Generation waren im Gegensatz zum hier erzielten Ergebnis in vorherigen Studien in der Mehrheit der Fälle effizienter entfernbar als konventionelle Materialien (s. S. 22, 23) (8, 16, 18, 22, 47, 82). Dies betraf vor allem das apikale Wurzeldrittel. Als hauptsächlicher Grund wird laut einem kürzlich erschienenen Review (47) ein Adhäsivversagen der methacrylatbasierten Sealer angenommen. Eine Schrumpfung des Sealers beim Abbinden, eine nur insuffiziente Entfernung der Schmierschicht und vor allem apikal vorhandenes, sklerotisches Dentin können zu insuffizienten Hybridschichten und damit zu Spaltbildungen am Interface Dentin-Sealer führen (s. S. 17, 18). Da also anscheinend kein ausreichender Verbund des Sealers zur Wurzelkanaloberfläche gebildet werden konnte, war es möglich, diesen einfacher vom Dentin abzulösen, woraus eine effektivere Revision resultierte.

Die in dieser Studie für *HRS* erzielten Ergebnisse lassen vermuten, dass adhäsive Sealer der 4. Generation höhere Haftkräfte zum Dentin entwickeln können als Vertreter der 3. Generation, da *HRS* hier die schlechteste Revisionseffizienz aufwies. Durch die Hydrophilie des Haftmonomers 4-Meta

könnte eine höhere Affinität des Sealers ans Dentin entstehen, die schließlich zu einer suffizienteren Hybridschicht führt. Önay et al. (62) konnten für die Kombination *HRS/Resilon* allerdings auch nur Haftwerte bis maximal 5 MPa für einzelne Testexemplare nachweisen (s. S. 17). Dieses Ergebnis entspricht der Größenordnung, die für epoxidharzbasierte Sealer erreicht werden kann und steht in keinem Verhältnis zu den in der adhäsiven Füllungstherapie erreichbaren Werten von 25-30 MPa (68). Zusätzlich ermittelten Önay et al. (62) eine relativ hohe Standardabweichung innerhalb der Versuchsgruppen, in denen adhäsive Sealer zum Einsatz kamen (*HRS/Resilon*: $3,43 \pm 2,07$ MPa; *RealSeal/Resilon*: $3,18 \pm 2,16$ MPa). Demnach stand auch für das selbstadhäsive *HRS* zur Diskussion, dass innerhalb der Versuchsgruppe die Adhäsivtechnik teils als Erfolg zu werten war (Probeexemplare mit hohen Haftwerten), teils einige Testexemplare ein Adhäsivversagen (niedrige Haftwerte) aufwiesen.

Dieser Aspekt lässt sich auch in der vorliegenden Studie anhand der für *HRS* benötigten Revisionszeit vermuten. Im 1. Revisionsschritt ließ sich *HRS* im Vergleich mit allen anderen Versuchsgruppen signifikant langsamer entfernen. Zudem wurde hier eine hohe Standardabweichung registriert, die in den anderen experimentellen Gruppen nicht auszumachen war (*HRS*: $218 \pm 65,02$ s). Die Guttapercha wirkte hier teils erhärtet und war nur schwer und in kleinen Portionen entfernbar. Ließ sich der zentrale Guttaperchastift bei allen verwendeten konventionellen Sealern durch die *EndoSequence*-Feilen sehr effektiv - in Spiralen um die Feilen gewunden- entfernen, so war dies bei oben genannten Exemplaren der *HRS*-Gruppe zudem nur mit erheblich höherem Zeitaufwand möglich. Eben diese Exemplare zeigten auch einen höheren Betrag an verbliebenen Sealerresten, welche sich nicht nur in lateralen Ausbuchtungen des Wurzelkanals zeigten, sondern die Kanalwände hier teils fast komplett bedeckten (s. Abb. 17 und 18, S. 72). Ausgehend davon scheint es in der *HRS*-Gruppe Exemplare gegeben zu haben, in denen die Ausbildung eines Monoblocks mit einem stabilen Interface zwischen Dentin, Sealer und Kernmaterial möglich war. Andere Exemplare, für die nur eine geringe Revisionszeit benötigt wurde, zeigten dagegen auch nur einen geringen Betrag an verbliebenen Füllungsresten, welche sich wiederum vorwiegend lediglich in lateralen Kanalausbuchtungen befanden.

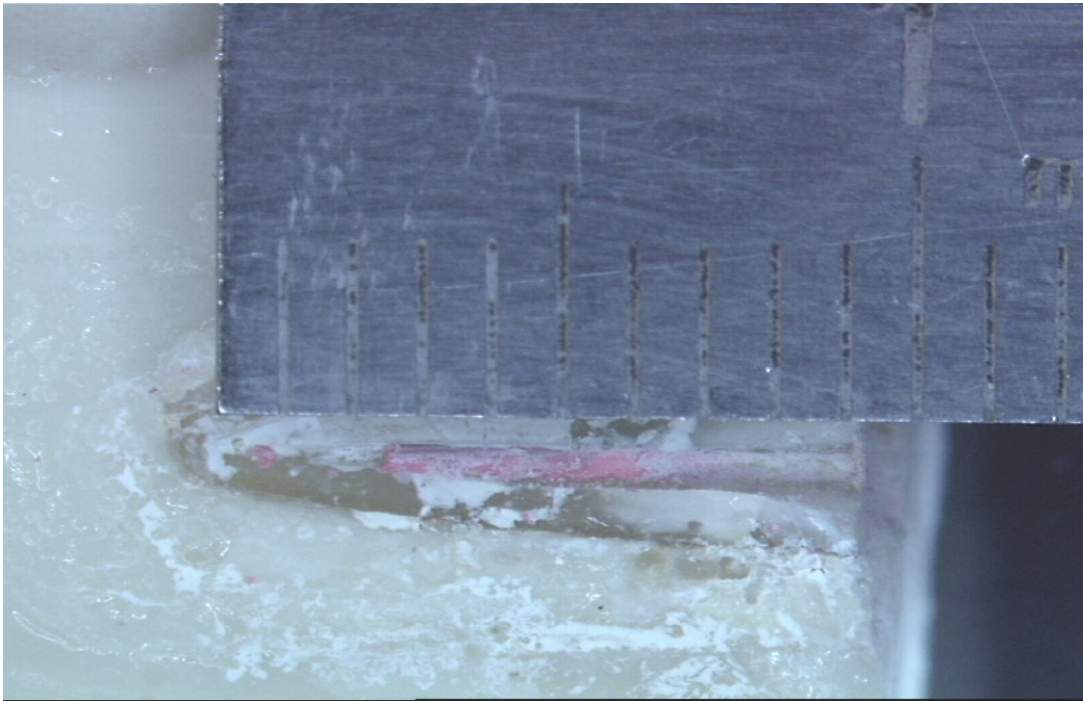


Abb. 17: Beispiel für ein Exemplar der HRS-Gruppe nach dem 1. Revisions-schritt mit deutlichen Resten an Guttapercha und Sealer an der gesamten Kanalwand

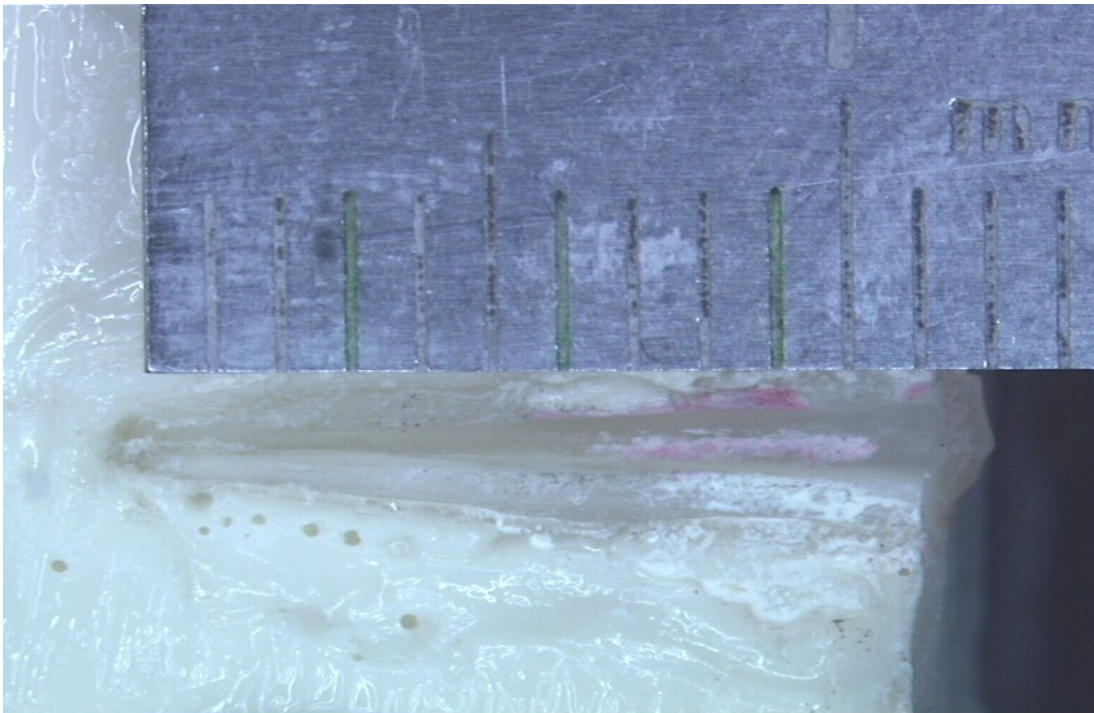


Abb. 18: Beispiel für ein Exemplar der Apexit Plus-Gruppe mit Sealerresten in einer koronalen Kanalausbuchtung nach dem 1. Revisionsschritt

Generell ist eine Revision als positiv zu bewerten, wenn nach der Reinstrumentation möglichst wenige Residuen verbleiben.

Im Umkehrschluss impliziert eine hohe Reinigungseffizienz bei adhäsiven Sealmaterialien aber wohl ein vorausgegangenes Adhäsivversagen (47).

Der konventionelle, silikonbasierte Sealer *GuttaFlow* erzielte in dieser Studie die besten Ergebnisse bezüglich der Reinigungseffizienz (18 % Füllungsreste am Ende des Revisionsprozesses im apikalen Wurzeldrittel). Er war in allen 3 Kanaldritteln signifikant besser revidierbar als *HRS*.

Auch in vorherigen Studien wies *GuttaFlow* eine effektivere Reinigungseffizienz als andere konventionelle Sealer und adhäsive Sealer der 2. und 3. Generation auf. Sowohl Hammad et al. (38), als auch Roggendorf et al. (70) ermittelten in diesen Studien für *GuttaFlow* Füllungsreste unter 1 % (Hammad et al.: 0,70 %; Roggendorf et al.: 0,16 %). Beide Studien führten analog zur vorliegenden Arbeit eine Zunahme der Aufbereitung von 2 Feilengrößen durch. Die effiziente Revidierbarkeit von *GuttaFlow* wurde damit erklärt, dass es eine gute Adaptation, aber keine Adhäsion an die Kanalwände erreicht. Zudem wird es nach dem Abbindevorgang nicht vollständig hart, sondern bleibt flexibel.

Die durch Hammad et al. und Roggendorf et al. erzielten, wesentlich geringeren Werte, lassen sich zum einen aufgrund der bereits erwähnten Auswahl der Probeexemplare mittels Micro-CT erklären. Zum anderen wurde *GuttaFlow* in der vorliegenden Studie in Kombination mit einem experimentellen *GuttaFlow* Primer angewendet. Es konnte bereits in vorherigen Studien (34, 73) gezeigt werden, dass die Kombination von konventionellen Sealern mit Dentinhaftvermittlern zu höheren Haftwerten führt (s. S. 13). Dies führte vermutlich gegenüber den oben erwähnten Studien zu einer geringeren Reinigungseffizienz.

Trotz der durch den eingesetzten Primer zusätzlich erzielten Haftkraft lieferte *GuttaFlow* im Rahmen dieser Studie ein überzeugendes Reinigungsergebnis im Falle einer eventuellen Revision. Die Anwendung eines konventionellen Sealers in Kombination mit einem Dentinadhäsiv erscheint daher als interessanter Ansatzpunkt. Zwar kann diese Technik keineswegs die Werte erreichen, die durch adhäsive Sealer angestrebt werden, jedoch kann der

Haftverbund für statische und dynamische Belastungen und für den Fall einer nachträglichen Stiftzementierung erhöht werden. Muss eine Wurzelfüllung von koronal zur Präparation eines Stiftbettes reduziert werden, so kann dies zu einem apikalen Displacement des Sealers führen, wenn die Haftkraft ohne zusätzlichen Primer nicht ausreicht.

Inwiefern die Kombination von konventionellen Sealern mit Dentinadhäsiven zu höheren Haftwerten und auch geringerer Leakage führt, sollte Gegenstand weiterer Studien der Zukunft sein.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass selbstadhäsive Sealer der 4. Generation deutlich schwieriger zu revidieren sind als konventionelle Sealer auf Kalziumhydroxidbasis und auf Silikonbasis in Kombination mit einem experimentellen Primer. Im Vergleich mit Sealern auf Epoxidharzbasis ergibt sich wahrscheinlich aufgrund der nahezu gleichen Haftkräfte zum Dentin eine ähnlich effiziente Revidierbarkeit. Allgemein ist festzuhalten, dass die Adhäsivtechnik im Wurzelkanal wohl noch als sehr techniksensitiv bewertet werden muss und daher bis dato keine klare Empfehlung zur Verwendung adhäsiver Sealersysteme ausgesprochen werden kann. Ob ein adhäsiver Sealer effizient revidierbar ist oder nicht, scheint abhängig davon zu sein, ob bei der Obturation des Wurzelkanals ein stabiles Interface zwischen Sealer und Wurzelkanaldentin ausgebildet werden konnte. Somit kann konstatiert werden, dass die Stärke des Haftverbunds vom Sealer zum Wurzelkanaldentin einen entscheidenden Faktor für die Revidierbarkeit der Wurzelkanalfüllung darstellt. Es bedarf weiterer Untersuchungen, diesen Aspekt näher zu untersuchen.

8 Schlussfolgerung

Die Vergrößerung des Kanaldurchmessers um 2 Größen über die ursprüngliche Aufbereitungsgröße hinaus führte sowohl für konventionelle, als auch für adhäsive Sealer zu einer signifikanten Reduktion von Sealerresten.

Eine Revision mit Füllungsresten gegen Null über die gesamte Kanallänge ist nur bei ideal kreisrund geformten Wurzelkanalanatomien möglich, bei denen durch die Revisionsfeilen alle Bereiche des Kanals instrumentiert werden können. Diese Forderung entspricht keineswegs der klinischen Realität.

Ein weitere Vergrößerung der Aufbereitungsgröße oder der Einsatz eines adjuvanten Lösungsmittels zur weiteren Minimierung der Füllungsresiduen gilt es, gegen Faktoren wie Frakturgefahr der Wurzel, Verlagerung des Kanalverlaufs und Toxizität des Lösungsmittels abzuwägen.

Das Hauptaugenmerk sollte daher darauf gelegt werden, bereits bei der Aufbereitung und Obturation des Wurzelkanals eine bestmögliche Keimarmut zu erzielen und diese durch eine hermetische Deckfüllung zu sichern, um eine Revision gar nicht erst nötig werden zu lassen. Im Falle einer notwendigen Revision ließen sich nicht-adhäsive Sealer effizienter entfernen und hinterließen bei gleicher Aufbereitungsgröße gegenüber adhäsiven Sealern weniger Sealerreste. Eine Vergrößerung der Aufbereitung um 2 Instrumentengrößen erscheint für eine signifikante Reduktion von adhäsiven Sealern nicht ausreichend zu sein.

9 Literaturverzeichnis

1. Akman M, Akman S, Derinbay O, Belli S: Evaluation of gaps or voids occurring in roots filled with three different sealers. *Eur J Dent* . 4, 101-109 (2010)
2. Al-Obaida M: Instrumentation time and aberration incidence with EndoSequence rotary NiTi system in comparison to three other commonly used rotary NiTi systems. *Pak Oral Dent. J.* 31, 211-214 (2010)
3. Babb BR, Loushine RJ, Bryan TE, Ames JM, Causey MS, Kim J, Kim YK, Weller RN, Pashley DH, Tay FR: Bonding of self-adhesive (self-etching) root canal sealers to radicular dentin. *J Endod.* 35, 578-582 (2009)
4. Barletta FB, Rahde NM, Limongi O, Moura AA, Zanesco C, Mazocatto G: In vitro comparative analysis of 2 mechanical techniques for removing gutta-percha during retreatment. *J Can Dent Assoc.* 73, 65 (2007)
5. Barrieshi-Nusair KM: Gutta-percha retreatment: effectiveness of nickel-titanium rotary instruments versus stainless steel hand files. *J Endod.* 28, 454-456 (2002)
6. Belli S, Ozcan E, Derinbay O, Eldeniz AU: A comparative evaluation of sealing ability of a new, self-etching, dual-curable sealer: Hybrid Root SEAL (MetaSEAL). *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol Endod.* 106, e45-e52 (2008)
7. Betti LV, Bramante CM: Quantec SC rotary instruments versus hand files for gutta-percha removal in root canal retreatment. *Int Endod J.* 34, 514-519 (2001)
8. Bodrumlu E, Uzun O, Topuz O, Serniz M: Efficacy of 3 techniques in removing root canal filling material. *J Can Dent Assoc.* 74, 721 (2008)
9. Bramante CM, Betti LV: Efficacy of Quantec rotary instruments for guttapercha removal. *Int Endod J.* 33, 463-467 (2000)
10. Brantley WA, Iijima M, Grentzer TH: Temperature-modulated DSC provides new insight about nickel-titanium wire transformations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 124, 387-394 (2002)

11. Britto LR, Borer RE, Vertucci FJ, Haddix JE, Gordan VV: Comparison of the apical seal obtained by a dual-cure resin based cement or an epoxy resin sealer with or without the use of an acidic primer. *J Endod.* 28, 721-723 (2002)
12. Broschüre GuttaFlow:
www.coltene.com/download.php?file_id=5280 (abgerufen am 03.02.2011)
13. Chang JC, Hurst TL, Hart DA, Estey AW: 4-META use in dentistry: a literature review. *J Prosthet Dent.* 87, 216-224 (2002)
14. Chen CY, Hasselgren G, Serman N, Elkind MS, Desvarieux M, Engebretson SP: Prevalence and quality of endodontic treatment in the Northern Manhattan elderly. *J Endod.* 33, 230-234 (2007)
15. Chen JL, Messer HH (2002): A comparison of stainless steel hand and rotary nickel-titanium instrumentation using a silicone impression technique. *Aust Dent J.* 47, 12-20 (2002)
16. Cunha RS, De Martin AS, Barros PP, da Silva FM, de Castilho Jacinto R, da Silveira Bueno CE: In vitro evaluation of the cleansing working time and analysis of the amount of gutta-percha or resilon remnants in the root canal walls after instrumentation for endodontic retreatment. *J Endod.* 33, 1426-1428 (2007)
17. DeAlmeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LAB: Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. *Int Endod J.* 33, 25-27 (2000)
18. de Oliveira DP, Barbizam JV, Trope M, Teixeira FB: Comparison between gutta-percha and resilon removal using two different techniques in endodontic retreatment. *J Endod.* 32, 362-364 (2006)
19. Desai Sh, Chandler N: Calcium hydroxide-based root canal sealer: a review. *J Endod.* 35, 475-480 (2009)
20. Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S: Shear bond strength of three resin based sealers to dentine with and without the smear layer. *J Endod.* 31, 293-296 (2005)
21. Eldeniz AU, Ørstavik D: A laboratory assessment of coronal bacterial leakage in root canals filled with new and conventional sealers. *Int Endod J.* 42, 303-312 (2009)
22. Ezzie E, Fleury A, Solomon E, Spears R, He J: Efficacy of retreatment techniques for a resin-based root canal obturation material. *J Endod.* 32, 341-344 (2006)

23. Facer SR, Walton RE: Intracanal distribution patterns of sealers after lateral condensation. *J Endod.* 29, 832-834 (2003)
24. Ferrari M, Manocci F, Vichi A, Cagidiaco MC, Mjör IA: Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate. *Am J Dent.* 13, 255-260 (2000)
25. Ferreira JJ, Rhodes JS, Pitt Ford TR: The efficacy of gutta-percha removal using ProFiles. *Int Endod J.* 34, 267-274 (2001)
26. Friedman S, Moshonov J, Trope M: Efficacy of removing glass ionomer cement, zinc oxide eugenol, and epoxy resin sealers from retreated root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 73, 609-612 (1992)
27. Friedman S, Moshonov J, Trope M: Residue of gutta-percha and a glass ionomer cement sealer following root canal retreatment. *Int Endod J.* 26, 169-172 (1993)
28. Gatewood RS: Endodontic materials. Review. *Dent Clin North Am.* 51, 695-712 (2007)
29. Georgopoulou MK, Spanaki-Voreadi AP, Pantazis N, Kontakiotis EG: Frequency and distribution of root filled teeth and apical periodontitis in a Greek population. *Int Endod J.* 38, 105-111 (2005)
30. Gergi R, Sabbagh C: Effectiveness of two nickel-titanium rotary instruments and a hand file for removing gutta-percha in severely curved root canals during retreatment: an ex vivo study. *Int Endod J.* 40, 532-537 (2007)
31. Gettleman BH, Messer HH, ElDeeb ME: Adhesion of sealer cements to dentin with or without the smear layer. *J Endod.* 17, 15-20 (1991)
32. Giuliani V, Cochetti R, Pagavino G: Efficacy of ProTaper Universal retreatment files in removing filling materials during root canal retreatment. *J Endod.* 34, 1381-1384 (2008)
33. Gogos C, Economides N, Stavrianos C, Kolokouris I, Kokorikos I: Adhesion of a new methacrylate resin-based sealer to human dentin. *J Endod.* 30, 238-240 (2004)
34. Gogos C, Stavrianos C, Kolokouris I, Papadoyannis I, Economides N: Shear bond strength of AH-26 root canal sealer to dentine using three dentine bonding agents. *J Dent.* 31, 321-326 (2003)
35. Grossman L: Endodontic practice. 11th edition. Philadelphia: Lea and Febiger, 255 (1988)

36. Gu LS, Ling JQ, Wei X, Huang XY: Efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment system for gutta-percha removal from root canals. *Int Endod J.* 41, 288-295 (2007)
37. Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM: Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J.* 38, 743-752 (2005)
38. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N: Three-dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod.* 34, 1370-1373 (2008)
39. Hassanloo A, Watson P, Finer Y, Friedman S: Retreatment efficacy of the Epiphany soft resin obturation system. *Int Endod J.* 40, 633-643 (2007)
40. Heling I, Gorfil C, Slutzky H, Kopolovic C, Zalkind M, Slutzky-Goldberg I: Endodontic failure caused by inadequate restorative procedures: review and treatment recommendations. *J Prosthet Dent.* 87, 674-678 (2002)
41. Hülsmann M, Bluhm V: Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment. *Int Endod J.* 37, 466-476 (2004)
42. Hülsmann M, Stotz S: Efficacy, cleaning ability and safety of different devices for gutta-percha removal in root canal retreatment. *Int Endod J.* 30, 227-233 (1997)
43. Hülsmann M, Stryga F: Comparison of root canal preparation using different automated devices and hand instrumentation. *J Endod.* 19, 141-145 (1993)
44. Imura N, Kato AS, Hata GI, Uemura M, Toda T, Weine F: A comparison of the relative efficacies of four hand and rotary instrumentation techniques during endodontic retreatment. *Int Endod J.* 33, 361-366 (2000)
45. Iqbal M, Kurtz E, Kohli M: Incidence and factors related to flare-ups in a graduate endodontic programme. *Int Endod J.* 42, 99-104 (2009)
46. Khayat A, Lee SJ, Torabinejad M: Human saliva penetration of coronally unsealed obturated root canals. *J Endod.* 19, 458-461 (1993)
47. Kim YK, Grandini S, Ames JM, Gu L, Kim SK, Pashley DH, Gutmann JL, Tay FR: Critical review on methacrylate resin-based root canal sealers. Review. *J Endod.* 36, 383-399 (2010)

48. Kirkevang LL, Horsted-Bindslev P, Ørstavik D, Wenzel A: Frequency and distribution of endodontically treated teeth and apical periodontitis in an urban Danish population. *Int Endod J.* 34, 198-205 (2001)
49. Kontakiotis EG, Tzanetakis GN, Loizides AL: A 12-month longitudinal in vitro leakage study on a new silicon-based root canal filling material (Gutta-Flow). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 103, 854-859 (2007)
50. Kurtzman GM: Simplifying endodontics with EndoSequence rotary instrumentation. *CDA Journal.* 35, 625-628 (2007)
51. Lawson MS, Loushine B, Mai S, Weller RN, Pashley DH, Tay FR, Loushine RJ: Resistance of a 4-META-containing, methacrylate-based sealer to dislocation in root canals. *J Endod.* 34, 833-837 (2008)
52. Lee KW, Williams MC, Camps JJ, Pashley DH: Adhesion of endodontic sealers to dentin and gutta-percha. *J Endod.* 28, 684-688 (2002)
53. Mai S, Kim YK, Hiraishi N, Ling J, Pashley DH, Tay FR: Evaluation of the truth self-etching potential of a fourth generation self-adhesive methacrylate resin-based sealer. *J Endod.* 35, 870-874 (2009)
54. Manhart M: The calcium hydroxide method of endodontic sealing. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 54, 219-224 (1982)
55. Manocci F, Ferrari M: Apical seal of roots obturated with laterally condensed gutta-percha, epoxy resin cement, and dentin bonding agent. *J Endod.* 24, 41-44 (1998)
56. Masiero AV, Barletta FB: Effectiveness of different techniques for removing gutta-percha during retreatment. *Int Endod J.* 38, 2-7 (2005)
57. McMichen FR, Pearson G, Rahbaran S, Gulabivala K: A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers. *Int Endod J.* 36, 629-635 (2003)
58. Miletić I, Ribarić SP, Karlović Z, Bosnjak A, Anić I: Apical leakage of five root canal sealers after one year of storage. *J Endod.* 28, 431-432 (2002)
59. Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Manocci F: The structure of dentine in the apical region of human dentin. *Int Endod J.* 34, 346-353 (2001)
60. Molander A, Reit C, Dahlen G, Kvist T: Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int Endod J.* 31, 1-7 (1998)

61. Moshonov J, Trope M, Friedman S: Retreatment efficacy 3 month after obturation using class ionomer cement, zinc oxide-eugenol, and epoxy resin sealers. *J Endod.* 20, 90-92 (1994)
62. Önay EO, Ungor M, Ari H, Belli S, Ogus E: Push-out bond strength and SEM evaluation of new polymeric root canal fillings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 107, 879-885 (2009)
63. Önay EO, Ungor M, Unver S, Ari H, Belli S: An in vitro evaluation of the apical sealing ability of new polymeric endodontic filling systems. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol Endod.* 108, e49-e54 (2009)
64. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE: Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mat.* 17, 512-519 (2001)
65. Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP: The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod.* 32, 993-997 (2006)
66. Ray HA, Trope M: Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J.* 28, 12-18 (1995)
67. Ring J, Murray PE, Namerow KN, Moldauer BI, Garcia-Godoy F: Removing root canal obturation materials: a comparison of rotary file systems and re-treatment agents. *J Am Dent Assoc.* 140, 680-688 (2009)
68. Rödiger T, Attin T, Hülsmann: Die Wurzelkanalsealer AH 26, AH Plus und RoekoSeal- eine Literaturübersicht. *Review. Endodontie.* 14, 153-176 (2005)
69. Rödiger T, Hülsmann M, Paqué F: Adhäsive Wurzelkanalfüllmaterialien- eine Literaturübersicht. *Review. Endodontie.* 14, 363-378 (2005)
70. Roggendorf MJ, Legner M, Ebert J, Fillery E, Petschelt A, Frankenberger R, Friedman S: Micro-CT evaluation of retreatment efficacy in canals filled with Active GP or GuttaFlow. *Int Endod J.* 43, 200-209 (2010)
71. Ruddle CJ: Cleaning and shaping the root canal system. In: Cohen S, Burns RC (Herausgeber): *Pathways of the pulp*. 8th. Louis: Mosby, 231-273 (2002)

72. Sae-Lim V, Rajamanickam I, Lim BK, Lee HL: Effectiveness of ProFile .04 taper rotary instruments in endodontic retreatment. *J Endod.* 26, 100-104 (2000)
73. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D: The effects of dentine pretreatment on the adhesion of root canal sealers. *Int Endod J.* 35, 859-866 (2002)
74. Salehrabi R, Rotstein J: Epidemiologic evaluation of the outcomes of orthograde endodontic retreatment. *J Endod.* 36, 790-792 (2010)
75. Salz U, Poppe D, Sbicego S, Roulet JF: Sealing properties of a new root canal sealer. *Int Endod J.* 42, 1084-1089 (2009)
76. Savariz A, Gonzáles-Rodríguez M-P, Ferrer-Luque C-M: Long-term sealing ability of GuttaFlow versus AH Plus using different obturation techniques. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 15, e936-941 (2010)
77. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J: Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod.* 28, 211-216 (2002)
78. Schäfer E, Schutz-Bongert U, Tulus G: Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod.* 30, 432-435 (2004)
79. Schäfer E, Zandbiglari T: Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J.* 36, 660-669 (2003)
80. Schirrmeister JF, Hermanns P, Meyer KM, Goetz F, Hellwig E: Detectability of residual Epiphany and gutta-percha after root canal retreatment using a dental operating microscope and radiographs- an ex vivo study. *Int Endod J.* 39, 558-565 (2006)
81. Schirrmeister JF, Meyer KM, Hermanns P, Altenburger MJ, Wrbas KT: Effectiveness of hand and rotary instrumentation for removing a new synthetic polymer-based root canal obturation material (Epiphany) during retreatment. *Int Endod J.* 39, 150-156 (2006)
82. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Meyer KM, Altenburger MJ, Hellwig E: Efficacy of different rotary instruments for gutta-percha removal in root canal retreatment. *J Endod.* 32, 469-472 (2006)
83. Schwartz RS: Adhesive dentistry and endodontics: part 2- bonding in the root canal system: the promise and the problems- a review. *J Endod.* 32, 1125-1134 (2006)

84. Shahravan A, Haghdoust AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F: Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. Review. J Endod. 33, 96-105 (2007)
85. Siqueira JF, Jr.: Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fall. Int Endod J. 34, 1-10 (2001)
86. Sjogren U, Fidgor D, Persson S, Sundqvist G: Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. Int Endod J. 30, 297-306 (1997)
87. Spångberg LS, Barbosa SV, Lavigne GD: AH 26 releases formaldehyde. J Endod. 19, 596-598 (1993)
88. Stabholz A, Friedman S: Endodontic retreatment-case selection and technique. Part 2. Treatment planning for retreatment. J Endod. 14, 607-614h (1988)
89. Steffen H, Löw A, Rosin M, Welk: Comparison of K hand files and ProFiles 0.06/0.04 in simulated curved root canals prepared by students. Quintessence Int. 10, 811-817 (2006)
90. Stoll R, Thull P, Hobeck Ch, Yüksel S, Jablonski- Momeni A, Roggendorf MJ: Adhesion of self-adhesive root canal sealers on gutta-percha and resilon. J Enod. 36, 890-893 (2010)
91. Sunay H, Tanalp J, Dikbas I, Bayirli G: Cross-sectional evaluation of the periapical status and quality of root canal treatment in a selected population of urban Turkish adults. Int Endod J. 40, 139-145 (2007)
92. Tagger M, Tagger E, Tjan AHL, Bakland LK: Measurement of adhesion of endodontic sealers to dentin. J Endod. 28, 351-354 (2002)
93. Takahashi CM, Cunha RS, De Martin AS, Fontana CE, Silveira CFM, da Silveira Bueno CE: In vitro evaluation of the effectiveness of ProTaper Universal rotary retreatment system for gutta-percha removal with or without a solvent. J Endod. 35, 1580-1583 (2009)
94. Tay Fr, Loushine RJ, Monticelli F, Weller RN, Breschi L, Ferrari M, Pashley DH: Effectiveness of resin-coated guttapercha cones and a dual-cured, hydrophilic methacrylate resin-based sealer in obturating root canals. J Endod. 31, 659-664 (2005)
95. Texeira FB, Teixeira EC, Thompson J, Kleinfelder KF, Trope M: Dentinal bonding reaches the root canal system. J Esteth Restor Dent. 16, 348-354 (2004)

96. Timpawat S, Amornchat C, Trisuwan WR: Bacterial coronal leakage after obturation with three root canal sealers. *J Endod.* 27, 36-39 (2001)
97. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S: Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: a systematic review. *J Endod.* 35, 930-937 (2009)
98. Vasiliadis L, Kodonas K, Economides N, Gogos C, Stavrianos C: Short- and long-term sealing ability of GuttaFlow and AH Plus using an ex vivo fluid transport model. *Int Endod J.* 43, 377-381 (2010)
99. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H: An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. *J Endod.* 14, 346-351 (1988)
100. Waltimo TMT, Boiesen J, Eriksen HM, Ørstavik D: Clinical performance of 3 endodontic sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 92, 89-92 (2001)
101. Wilcox LR, Krell KV, Madison S, Rittman B: Endodontic retreatment: evaluation of gutta-percha and sealer removal and canal reinstrumentation. *J Endod.* 13, 453-457 (1987)
102. Wissenschaftliche Dokumentation Apexit Plus: www.ivoclarvivadent.de/de-de/alle-produkte/produkte/endodontie-_stiftstumpfaufbau/wurzelkanalsealer-/apexit-plus (abgerufen am 03.02.2011)
103. Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK: Wurzelkanalfüllpasten und -stifte. *Dtsch Zahnärztl Z.* 55, 9 (2000)
104. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR: Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J.* 33, 440-445 (2000)
105. Wu MK, Tigos E, Wesselink PR: An 18-th month longitudinal study on a new siliconbased sealer, RSA RoekoSeal: a leakage study in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 94, 499-502 (2002)
106. www.realworldendo.com/eng/lib_instrumentation.html (abgerufen am 28.02.2011)
107. Zarei M, Shahrami F, Vatanpour M: Comparison between gutta-percha and resilon retreatment. *J Oral Sci.* 51, 181-185 (2009)

10 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACP	alternate contact point
ANOVA	analysis of variance
bzw.	beziehungsweise
C-Faktor	Konfigurationsfaktor
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
d.h.	das heißt
EDTA	Ethylendiamintetraacetat
et al.	et alteri
evtl.	eventuell
g	Gramm
HRS	<i>Hybrid Root SEAL</i>
ISO	International Organization for Standardization
Max.	maximaler gemessener Wert
min	Minute
Min.	minimaler gemessener Wert
Mittelw.	Mittelwert
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mm ²	Quadratmillimeter
MPa	Megapascal
µm	Mikrometer
n	natürliche Zahl; hier: Größe der Versuchsgruppe
NIOM	Nordic Institute of Dental Materials
NiTi	Nickel-Titan
PRCS	percentage of residue-coated canal surface
PUR	Polyurethanharz
RSA	<i>RoekoSeal Automix</i>
s	Sekunden
s.	siehe

S.	Seite
SD	Standardabweichung
sog.	sogenannte(r,s)
Tab.	Tabelle
U	Umdrehungen
z.B.	zum Beispiel
.02	taper .02
.04	taper .04
#	ISO-Feilengröße

11 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. 1:	Flussdiagramm der einzelnen Arbeitsschritte	S. 29
Abb. 2:	Gusshohlform und angefertigtes <i>Biresin</i> -Gussteil	S. 31
Abb. 3:	fertiger PUR-Block mit eingebettetem Zahn im offenen und geschlossenen Zustand	S. 32
Abb. 4:	Epoxidharz-Sealer <i>AH Plus</i>	S. 34
Abb. 5:	Kalziumsalizylat-Sealer <i>Apexit Plus</i>	S. 35
Abb. 6:	<i>GuttaFlow</i> -Kapsel	S. 36
Abb. 7:	<i>GuttaFlow</i> -Austragegerät (Dispenser)	S. 36
Abb. 8:	<i>Hybrid Root SEAL</i>	S. 38
Abb. 9:	Aufnahmesequenz eines koronalen Kanalabschnitts	S. 44
Abb. 10:	Beispiel für ein mittels <i>Helicon Focus</i> erstelltes Gesamtbild	S. 45
Abb. 11:	Füllungsreste im apikalen Kanaldrittel nach dem 3. Revisionsschritt	S. 48
Abb. 12:	Prozentualer Anteil von verbliebenem Wurzelkanalsealer im koronalen Wurzelkanalabschnitt in allen 4 Gruppen	S. 52
Abb. 13:	Prozentualer Anteil von verbliebenem Wurzelkanalsealer im mittleren Wurzelkanalabschnitt in allen 4 Gruppen	S. 53
Abb. 14:	Prozentualer Anteil von verbliebenem Wurzelkanalsealer im apikalen Wurzelkanalabschnitt in allen 4 Gruppen	S. 54
Abb. 15:	Darstellung der erforderlichen Zeit zum Erreichen der Arbeitslänge im 1. Revisionsschritt (.04/#40)	S. 56
Abb. 16:	Erforderliche Gesamtzeit nach Abschluss aller 3 Revisionsschritte und erfolgter Instrumentierung von .04/#40 bis .04/#50	S. 57
Abb. 17:	Beispiel für ein Exemplar der <i>Hybrid Root SEAL</i> -Gruppe nach dem 1. Revisionsschritt	S. 72
Abb. 18:	Beispiel für ein Exemplar der <i>Apexit Plus</i> -Gruppe nach dem 1. Revisionsschritt	S. 72

Tabellen

Tab. 1:	Spülsequenz zur Entfernung der Schmierschicht und nach Revision	S. 33
Tab. 2:	Inhaltsstoffe von <i>AH Plus</i>	S. 34
Tab. 3:	Inhaltsstoffe von <i>Apexit Plus</i>	S. 35
Tab. 4:	Inhaltsstoffe von <i>GuttaFlow</i>	S. 37
Tab. 5:	Inhaltsstoffe des Wurzelkanalsealers <i>Hybrid Root SEAL</i>	S. 38
Tab. 6:	Anzahl der mikroskopischen Aufnahmen pro Zahn	S. 43
Tab. 7:	Prozentualer Anteil an Füllungsresten nach sukzessiver Instrumentierung der Wurzelkanäle von .04/#40 bis .04/#50 in den 4 Versuchsgruppen	S. 92
Tab. 8:	Benötigte Revisionszeit bis zum Abschluss des jeweiligen Revisions schrittes, sowie benötigte Gesamtzeit	S. 93

12 Anhang

12.1 Materialliste

<i>AH Plus</i> [®] Paste A: LOT 0809000337 Paste B: LOT 0808001330	Dentsply DeTrey, Konstanz
<i>Apexit Plus</i> [®] LOT: MM0282	Ivoclar Vivadent AG, Schaan/Liechtenstein
Aqua dest.	Zahnklinik 1 - Zahnerhaltung und Parodontologie, Universitätsklinikum Erlangen-Nürnberg
<i>Biresin</i> [®] G27	Sika B.V., Utrecht, Niederlande
blaues Winkelstück	KaVo GmbH, Biberach
<i>Cavit</i> [™]	3M ESPE AG, Seefeld
Chloramin-T-Lösung 0,5%	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen-Nürnberg
Diamantbohrer	Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo
digitale Kamera <i>Nikon D80</i>	Nikon Corp., Tokio, Japan
Dubliersilikon <i>Hinrisil hydro</i>	Ernst Hinrichs GmbH, Goslar
<i>CanalBrush</i>	Coltene Endo, Langenau
Endodontie Winkelstück 6:1 Übersetzung	VDW GmbH, München
<i>EndoSequence</i> .04/#40, 45, 50	RealWorld Endo, Brasseler USA, Savannah, GA, USA
Ethanol 70%	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen-Nürnberg
<i>EZ-Fill</i> [®] bi-directional spiral	Essential Dental Systems, South Hackensack, NJ, USA
<i>FlexMaster</i> [®]	VDW GmbH, München

Permanentmarker <i>Lumocolor</i> [®]	Staedtler, Nürnberg
Frontzahnscaler	Carl Martin, Solingen
<i>Grandio</i> [®]	Voco, Cuxhaven
<i>GuttaFlow</i> [®] LOT: 6802992	Coltène Endo, Langenau
<i>GuttaFlow</i> [®] Dispenser	Coltène Endo, Langenau
<i>GuttaFlow</i> [®] Primer Primer A: LOT: 090220-Bar/1 Primer B: LOT: 090220-Bar/2	Coltène Endo, Langenau
<i>Guttapercha Antaeos .04</i> #35, 40	VDW GmbH, München
Handstück	W&H, Laufen/Obb.
Hartmetallfräse	Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo
Heidemannspatel	HuFriedy, Leimen
<i>Helicon Focus</i> [®] 4.80	Helicon Soft Ltd., Charkov, Ukraine
<i>Heliobond</i> [®]	Ivoclar Vivadent, Ellwangen
<i>Hybrid Root SEAL</i> [®] LOT: SE1	Sun Medical Co., LTD., Moriyama, Shiga, Japan
<i>K-Reamer</i> Taper .02 # 10, 15	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Natriumhypochlorit 5%	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen-Nürnberg
Omnicident <i>Omnibrush</i> [®]	Omnicident, Rodgau
<i>Omnifix</i> [®] Luer Lock Einmalspritzen 2 ml	B.Braun Melsungen AG, Melsungen
<i>Paper Points Antaeos .04</i>	VDW [®] GmbH, München
Polymerisationslampe <i>Bluephase</i> [®]	Ivoclar Vivadent, Ellwangen
<i>Qwin</i> [®]	Leica Microsystems GmbH, Wetzlar
rotes Winkelstück	KaVo, Biberach

Schaumstoffpellets	Voco, Cuxhaven
Schmirgelpapier	Struers, Ballerup, Dänemark
Silikonstopper	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Skalpell	Braun, Tuttlingen
SPSS® 16.0	SPSS Inc., Chicago, IL, USA
Stahllineal	RUMOLD GmbH & Co. KG, Stuttgart
Stereo-Lichtmikroskop <i>Stemi SV6</i>	Zeiss AG, Oberkochen
Tischbohrmaschine <i>quantum® B16</i>	Optimum Maschinen Germany GmbH, Hallstadt/Bamberg
<i>transcoject®</i> Endo Luer Lock Einmalspülkanülen 30G	transcoject GmbH & Co. KG, Neumünster
Trennscheibe <i>943DC080</i>	Hager & Meisinger GmbH, Neuss
Triturator <i>CapMix™</i>	3M ESPE AG, Seefeld
<i>VDW.Silver</i> Endomotor	VDW GmbH, München
<i>Vita Zeta®</i> HC Special Insulating Liquid	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen
Zitronensäure 40%	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen-Nürnberg

12.2 Statistik

12.2.1 Deskriptive Statistik

Füllmaterialreste im Wurzelkanal (in %)				
		Schritt 1 (.04/#40)	Schritt 2 (.04/#45)	Schritt 3 (.04/#50)
AH Plus				
apikal	Mittelw. [SD]	56,2 [22,1]	34,7 [19,3]	27,2 [17,8]
	Min./Max.	28,9/90,0	5,5/62,5	1,0/56,0
mittig	Mittelw. [SD]	50,4 [17,9]	40,0 [18,6]	26,5 [14,7]
	Min./Max.	23,3/77,0	7,8/63,5	6,6/52,4
koronal	Mittelw. [SD]	44,4 [18,4]	35,5 [15,8]	25,8 [16,1]
	Min./Max.	15,5/77,3	5,1/64,4	0,4/49,3
Apexit Plus				
apikal	Mittelw. [SD]	47,9 [14,7]	33,5 [15,4]	19,3 [10,8]
	Min./Max.	19,6/75,1	9,0/65,8	5,7/40,1
mittig	Mittelw. [SD]	39,3 [12,5]	30,6 [11,0]	20,6 [11,7]
	Min./Max.	24,1/67,6	12,3/57,3	3,1/36,6
koronal	Mittelw. [SD]	38,6 [14,2]	27,2 [10,7]	21,4 [14,2]
	Min./Max.	21,6/66,7	13,8/54,5	3,9/53,3
GuttaFlow				
apikal	Mittelw. [SD]	33,6 [14,5]	25,2 [17,6]	17,7 [15,5]
	Min./Max.	13,4/61,1	3,7/61,7	3,0/56,6
mittig	Mittelw. [SD]	35,9 [15,8]	22,0 [12,8]	16,6 [11,5]
	Min./Max.	5,8/61,7	4,6/46,5	0,3/35,2
koronal	Mittelw. [SD]	27,7 [18,7]	15,2 [11,4]	12,1 [9,4]
	Min./Max.	5,0/60,5	1,3/34,8	1,0/27,5
Hybrid Root SEAL				
apikal	Mittelw. [SD]	64,6 [16,1]	46,4 [18,8]	31,4 [16,3]
	Min./Max.	44,6/91,5	16,8/78,5	11,3/61,8
mittig	Mittelw. [SD]	70,0 [16,8]	48,7 [13,1]	37,6 [12,3]
	Min./Max.	36,4/94,0	19,0/67,3	12,5/54,7
koronal	Mittelw. [SD]	58,7 [14,8]	45,6 [14,4]	32,8 [13,9]
	Min./Max.	21,0/76,3	13,9/70,6	11,3/55,5

Tab. 7: Prozentualer Anteil an Füllmaterialresten nach sukzessiver Instrumentierung der Wurzelkanäle von .04/#40 bis .04/#50 in den 4 Versuchsgruppen; Mittelw.=Mittelwert, SD=Standardabweichung, Min./Max.=minimaler und maximaler gemessener Wert

	Revisionszeit (s)			
	Schritt 1 (.04/#40)	Schritt 2 (.04/#45)	Schritt 3 (.04/#50)	Gesamtzeit
<i>AH Plus</i>				
Mittelwert	168	108	107	383
SD	27,6	6,7	4,4	26,5
Min/Max	137/227	91/117	99/115	349/436
<i>Apexit Plus</i>				
Mittelwert	167	110	108	385
SD	27,3	7,1	5,6	27,1
Min/Max	131/252	96/121	100/120	345/460
<i>GuttaFlow</i>				
Mittelwert	152	107	108	367
SD	17,0	7,5	5,2	18,2
Min/Max	128/179	96/119	101/116	336/391
<i>Hybrid Root SEAL</i>				
Mittelwert	218	114	108	440
SD	65,0	17,1	5,4	59,8
Min/Max	136/337	95/155	99/120	361/551

Tab. 8: Benötigte Revisionszeit bis zum Abschluss des jeweiligen Revisionsschrittes, sowie benötigte Gesamtzeit; SD=Standardabweichung, Min./Max.=minimaler und maximaler gemessener Wert

12.2.2 Induktive Statistik

Allgemeines lineares Modell

Innersubjektfaktoren

Maß: MASS_1

Step	Abhängige Variable
1	RCS1a
2	RCS2a
3	RCS3a

Zwischensubjektfaktoren

		Wertelabel	N
sealer	1	AH+	14
	2	Apexit+	14
	3	Guttaflow	14
	4	HRS	14

Box-Test auf Gleichheit der Kovarianzenmatrizen(a)

Box-M-Test	28,603
F	1,421
df1	18
df2	9555,239
Signifikanz	,110

Prüft die Nullhypothese, daß die beobachteten Kovarianzen- matrizen der abhängigen Variablen über die Gruppen gleich sind.

a Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Multivariate Tests(c)

Effekt		Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Signifikanz
Step	Pillai-Spur	,817	113,497(a)	2,000	51,000	,000
	Wilks-Lambda	,183	113,497(a)	2,000	51,000	,000
	Hotelling-Spur	4,451	113,497(a)	2,000	51,000	,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	4,451	113,497(a)	2,000	51,000	,000
Step * group	Pillai-Spur	,284	2,871	6,000	104,000	,013
	Wilks-Lambda	,731	2,881(a)	6,000	102,000	,012
	Hotelling-Spur	,347	2,888	6,000	100,000	,012
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,268	4,644(b)	3,000	52,000	,006

a Exakte Statistik

b Die Statistik ist eine Obergrenze auf F, die eine Untergrenze auf dem Signifikanzniveau ergibt.

c Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Mauchly-Test auf Sphärizität(b)

Maß: MASS_1

Innersubjekt effekt	Mauchly- W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon(a)		
					Huynh- Feldt	Untergrenze	Greenhouse- Geisser
Step	,746	14,954	2	,001	,797	,866	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Step	Sphärizität angenommen	20089,939	2	10044,969	118,114	,000
	Greenhouse-Geisser	20089,939	1,595	12597,835	118,114	,000
	Huynh-Feldt	20089,939	1,732	11599,006	118,114	,000
	Untergrenze	20089,939	1,000	20089,939	118,114	,000
Step * group	Sphärizität angenommen	1470,004	6	245,001	2,881	,012
	Greenhouse-Geisser	1470,004	4,784	307,266	2,881	,021
	Huynh-Feldt	1470,004	5,196	282,904	2,881	,017
	Untergrenze	1470,004	3,000	490,001	2,881	,045
Fehler (Step)	Sphärizität angenommen	8844,646	104	85,045		
	Greenhouse-Geisser	8844,646	82,925	106,658		
	Huynh-Feldt	8844,646	90,066	98,202		
	Untergrenze	8844,646	52,000	170,089		

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MASS_1

Quelle	Step	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Step	Linear	19898,757	1	19898,757	198,059	,000
	Quadratisch	191,181	1	191,181	2,746	,104
Step * group	Linear	1185,141	3	395,047	3,932	,013
	Quadratisch	284,863	3	94,954	1,364	,264
Fehler(Step)	Linear	5224,370	52	100,469		
	Quadratisch	3620,276	52	69,621		

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

	F	df1	df2	Signifikanz
RCS1 apical	2,595	3	52	,062
RCS2 apical	,913	3	52	,441
RCS3 apical	1,705	3	52	,177

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Konstanter Term	223345,939	1	223345,939	335,571	,000
group	10841,594	3	3613,865	5,430	,003
Fehler	34609,602	52	665,569		

Post-Hoc-Tests

sealer

Mehrfachvergleiche

Maß: MASS 1

	(I) sealer	(J) sealer	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Obergrenze	Untergrenze
Scheffé	AH+	Apexit+	5,8079	5,62972	,786	-10,4579	22,0736
		Guttaflow	13,8683	5,62972	,122	-2,3974	30,1340
		HRS	-8,0983	5,62972	,562	-24,3640	8,1674
	Apexit+	AH+	-5,8079	5,62972	,786	-22,0736	10,4579
		Guttaflow	8,0605	5,62972	,566	-8,2052	24,3262
		HRS	-13,9062	5,62972	,121	-30,1719	2,3595
	Guttaflow	AH+	-13,8683	5,62972	,122	-30,1340	2,3974
		Apexit+	-8,0605	5,62972	,566	-24,3262	8,2052
		HRS	-21,9667(*)	5,62972	,004	-38,2324	-5,7010
	HRS	AH+	8,0983	5,62972	,562	-8,1674	24,3640
		Apexit+	13,9062	5,62972	,121	-2,3595	30,1719
		Guttaflow	21,9667(*)	5,62972	,004	5,7010	38,2324
Tamhane	AH+	Apexit+	5,8079	5,45323	,880	-9,8384	21,4541
		Guttaflow	13,8683	5,99338	,161	-3,2026	30,9392
		HRS	-8,0983	6,05968	,724	-25,3532	9,1565
	Apexit+	AH+	-5,8079	5,45323	,880	-21,4541	9,8384
		Guttaflow	8,0605	5,16410	,570	-6,7042	22,8251
		HRS	-13,9062	5,24089	,080	-28,9037	1,0913
	Guttaflow	AH+	-13,8683	5,99338	,161	-30,9392	3,2026
		Apexit+	-8,0605	5,16410	,570	-22,8251	6,7042
		HRS	-21,9667(*)	5,80085	,005	-38,4801	-5,4532
	HRS	AH+	8,0983	6,05968	,724	-9,1565	25,3532
		Apexit+	13,9062	5,24089	,080	-1,0913	28,9037
		Guttaflow	21,9667(*)	5,80085	,005	5,4532	38,4801

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

* Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Homogene Untergruppen

MASS_1

	sealer	N	Untergruppe	
			2	1
Scheffé(a, b, c)	Guttaflow	14	25,4876	
	Apexit+	14	33,5481	33,5481
	AH+	14	39,3560	39,3560
	HRS	14		47,4543
	Signifikanz		,122	,121

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 221,856".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 14,000

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerlevels für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Sealerreste im mittleren Kanaldrittel

Allgemeines lineares Modell

Innersubjektfaktoren

Maß: MASS_1

Step	Abhängige Variable
1	RCS1m
2	Rcs2m
3	RCS3m

Zwischensubjektfaktoren

		Wertelabel	N
sealer	1	AH+	14
	2	Apexit+	14
	3	Guttaflow	14
	4	HRS	14

Box-Test auf Gleichheit der Kovarianzenmatrizen(a)

Box-M-Test	19,752
F	,981
df1	18
df2	9555,239
Signifikanz	,479

Prüft die Nullhypothese, daß die beobachteten Kovarianzen- matrizen der abhängigen Variablen über die Gruppen gleich sind.

a Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Multivariate Tests(c)

Effekt		Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Signifikanz
Step	Pillai-Spur	,759	80,513(a)	2,000	51,000	,000
	Wilks-Lambda	,241	80,513(a)	2,000	51,000	,000
	Hotelling-Spur	3,157	80,513(a)	2,000	51,000	,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	3,157	80,513(a)	2,000	51,000	,000
Step * group	Pillai-Spur	,219	2,126	6,000	104,000	,056
	Wilks-Lambda	,792	2,102(a)	6,000	102,000	,059
	Hotelling-Spur	,249	2,078	6,000	100,000	,062
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,172	2,987(b)	3,000	52,000	,039

a Exakte Statistik

b Die Statistik ist eine Obergrenze auf F, die eine Untergrenze auf dem Signifikanzniveau ergibt.

c Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Mauchly-Test auf Sphärizität(b)

Maß: MASS_1

Innersubjekt effekt Step	Mauchly- W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon(a)		
					Huynh- Feldt	Untergrenze	Greenhouse- Geisser
	,900	5,365	2	,068	,909	,995	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Step	Sphärizität angenommen	15639,403	2	7819,701	96,524	,000
	Greenhouse-Geisser	15639,403	1,818	8600,488	96,524	,000
	Huynh-Feldt	15639,403	1,989	7861,289	96,524	,000
	Untergrenze	15639,403	1,000	15639,403	96,524	,000
Step * group	Sphärizität angenommen	1170,818	6	195,136	2,409	,032
	Greenhouse-Geisser	1170,818	5,455	214,620	2,409	,038
	Huynh-Feldt	1170,818	5,968	196,174	2,409	,032
	Untergrenze	1170,818	3,000	390,273	2,409	,078
Fehler (Step)	Sphärizität angenommen	8425,313	104	81,013		
	Greenhouse-Geisser	8425,313	94,558	89,102		
	Huynh-Feldt	8425,313	103,450	81,443		
	Untergrenze	8425,313	52,000	162,025		

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MASS_1

Quelle	Step	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Step	Linear	15520,629	1	15520,629	160,442	,000
	Quadratisch	118,774	1	118,774	1,819	,183
Step * group	Linear	851,783	3	283,928	2,935	,042
	Quadratisch	319,035	3	106,345	1,629	,194
Fehler(Step)	Linear	5030,305	52	96,737		
	Quadratisch	3395,007	52	65,289		

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

	F	df1	df2	Signifikanz
RCS1 middle	,816	3	52	,491
RCS2 middle	2,469	3	52	,072
RCS3 middle	,695	3	52	,559

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Konstanter Term	224104,982	1	224104,982	499,061	,000
group	17845,053	3	5948,351	13,246	,000
Fehler	23350,759	52	449,053		

Post-Hoc-Tests

sealer

Mehrfachvergleiche

Maß: MASS_1

			Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Obergrenze	Untergrenze
Scheffé	AH+	Apexit+	8,8243	4,62423	,314	-4,5363	22,1849
		Guttaflow	14,1412(*)	4,62423	,034	,7806	27,5018
		HRS	-13,0924	4,62423	,057	-26,4530	,2682
	Apexit+	AH+	-8,8243	4,62423	,314	-22,1849	4,5363
		Guttaflow	5,3169	4,62423	,725	-8,0437	18,6775
		HRS	-21,9167(*)	4,62423	,000	-35,2772	-8,5561
	Guttaflow	AH+	-14,1412(*)	4,62423	,034	-27,5018	-,7806
		Apexit+	-5,3169	4,62423	,725	-18,6775	8,0437
		HRS	-27,2336(*)	4,62423	,000	-40,5941	-13,8730
	HRS	AH+	13,0924	4,62423	,057	-,2682	26,4530
		Apexit+	21,9167(*)	4,62423	,000	8,5561	35,2772
		Guttaflow	27,2336(*)	4,62423	,000	13,8730	40,5941
Tamhane	AH+	Apexit+	8,8243	4,61634	,345	-4,4305	22,0791
		Guttaflow	14,1412(*)	4,84985	,044	,2903	27,9921
		HRS	-13,0924	5,11617	,096	-27,6635	1,4787
	Apexit+	AH+	-8,8243	4,61634	,345	-22,0791	4,4305
		Guttaflow	5,3169	4,07330	,745	-6,2949	16,9287
		HRS	-21,9167(*)	4,38702	,000	-34,4700	-9,3634
	Guttaflow	AH+	-14,1412(*)	4,84985	,044	-27,9921	-,2903
		Apexit+	-5,3169	4,07330	,745	-16,9287	6,2949
		HRS	-27,2336(*)	4,63210	,000	-40,4358	-14,0314
	HRS	AH+	13,0924	5,11617	,096	-1,4787	27,6635
		Apexit+	21,9167(*)	4,38702	,000	9,3634	34,4700
		Guttaflow	27,2336(*)	4,63210	,000	14,0314	40,4358

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.



Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Homogene Untergruppen

MASS_1

	sealer	N	Untergruppe		
			2	3	1
Scheffé(a, b,c)	Guttaflow	14	24,8505		
	Apexit+	14	30,1674	30,1674	
	AH+	14		38,9917	38,9917
	HRS	14			52,0840
	Signifikanz		,725	,314	,057

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 149,684".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 14,000

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Sealerreste im apikalen Kanaldrittel

Allgemeines Lineares Modell

Innersubjektfaktoren

Maß: MASS_1

Step	Abhängige Variable
1	RCS1c
2	RCS2c
3	RCS3c

Zwischensubjektfaktoren

		Wertelabel	N
sealer	1	AH+	14
	2	Apexit+	14
	3	Guttaflow	14
	4	HRS	14

Box-Test auf Gleichheit der Kovarianzenmatrizen(a)

Box-M-Test	56,278
F	2,795
df1	18
df2	9555,239
Signifikanz	,000

Prüft die Nullhypothese, daß die beobachteten Kovarianzen- matrizen der abhängigen Variablen über die Gruppen gleich sind.

a Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Multivariate Tests(c)

Effekt		Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Signifikanz
Step	Pillai-Spur	,697	58,592(a)	2,000	51,000	,000
	Wilks-Lambda	,303	58,592(a)	2,000	51,000	,000
	Hotelling-Spur	2,298	58,592(a)	2,000	51,000	,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	2,298	58,592(a)	2,000	51,000	,000
Step * group	Pillai-Spur	,147	1,379	6,000	104,000	,230
	Wilks-Lambda	,855	1,381(a)	6,000	102,000	,230
	Hotelling-Spur	,166	1,381	6,000	100,000	,230
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,142	2,466(b)	3,000	52,000	,072

a Exakte Statistik

b Die Statistik ist eine Obergrenze auf F, die eine Untergrenze auf dem Signifikanzniveau ergibt.

c Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Mauchly-Test auf Sphärizität(b)

Maß: MASS_1

Innersubjekt effekt	Mauchly- W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon(a)		
					Huynh- Feldt	Untergrenze	Greenhouse- Geisser
Step	,902	5,244	2	,073	,911	,997	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Step	Sphärizität angenommen	10554,854	2	5277,427	78,414	,000
	Greenhouse-Geisser	10554,854	1,822	5793,077	78,414	,000
	Huynh-Feldt	10554,854	1,994	5294,590	78,414	,000
	Untergrenze	10554,854	1,000	10554,854	78,414	,000
Step * group	Sphärizität angenommen	588,117	6	98,020	1,456	,201
	Greenhouse-Geisser	588,117	5,466	107,597	1,456	,207
	Huynh-Feldt	588,117	5,981	98,338	1,456	,201
	Untergrenze	588,117	3,000	196,039	1,456	,237
Fehler (Step)	Sphärizität angenommen	6999,419	104	67,302		
	Greenhouse-Geisser	6999,419	94,743	73,878		
	Huynh-Feldt	6999,419	103,663	67,521		
	Untergrenze	6999,419	52,000	134,604		

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MASS_1

Quelle	Step	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Step	Linear	10446,711	1	10446,711	118,794	,000
	Quadratisch	108,143	1	108,143	2,317	,134
Step * group	Linear	434,206	3	144,735	1,646	,190
	Quadratisch	153,911	3	51,304	1,099	,358
Fehler(Step)	Linear	4572,857	52	87,940		
	Quadratisch	2426,561	52	46,665		

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

	F	df1	df2	Signifikanz
RCS1 coronal	1,160	3	52	,334
RCS2 coronal	,661	3	52	,580
RCS3 coronal	1,532	3	52	,217

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+group

Innersubjekt-Design: Step

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Konstanter Term	173432,599	1	173432,599	344,622	,000
group	16455,939	3	5485,313	10,900	,000
Fehler	26169,269	52	503,255		

Post-Hoc-Tests

sealer

Mehrfachvergleiche

Maß: MASS 1

	(I) sealer	(J) sealer	Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Obergrenze	Untergrenze
Scheffé	AH+	Apexit+	5,9457	4,89536	,690	-8,1982	20,0897
		Guttaflow	16,8564(*)	4,89536	,013	2,7125	31,0004
		HRS	-10,4964	4,89536	,217	-24,6404	3,6475
	Apexit+	AH+	-5,9457	4,89536	,690	-20,0897	8,1982
		Guttaflow	10,9107	4,89536	,188	-3,2332	25,0547
		HRS	-16,4421(*)	4,89536	,016	-30,5861	-2,2982
	Guttaflow	AH+	-16,8564(*)	4,89536	,013	-31,0004	-2,7125
		Apexit+	-10,9107	4,89536	,188	-25,0547	3,2332
		HRS	-27,3529(*)	4,89536	,000	-41,4968	-13,2089
	HRS	AH+	10,4964	4,89536	,217	-3,6475	24,6404
		Apexit+	16,4421(*)	4,89536	,016	2,2982	30,5861
		Guttaflow	27,3529(*)	4,89536	,000	13,2089	41,4968
Tamhane	AH+	Apexit+	5,9457	5,06657	,824	-8,5153	20,4067
		Guttaflow	16,8564(*)	5,16119	,018	2,1418	31,5711
		HRS	-10,4964	5,09280	,264	-25,0273	4,0344
	Apexit+	AH+	-5,9457	5,06657	,824	-20,4067	8,5153
		Guttaflow	10,9107	4,68961	,157	-2,4408	24,2623
		HRS	-16,4421(*)	4,61424	,009	-29,5772	-3,3071
	Guttaflow	AH+	-16,8564(*)	5,16119	,018	-31,5711	-2,1418
		Apexit+	-10,9107	4,68961	,157	-24,2623	2,4408
		HRS	-27,3529(*)	4,71793	,000	-40,7840	-13,9217
	HRS	AH+	10,4964	5,09280	,264	-4,0344	25,0273
		Apexit+	16,4421(*)	4,61424	,009	3,3071	29,5772
		Guttaflow	27,3529(*)	4,71793	,000	13,9217	40,7840

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

* Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Homogene Untergruppen

MASS_1

	sealer	N	Untergruppe		
			2	3	1
Scheffé(a, b, c)	Guttaflow	14	18,3500		
	Apexit+	14	29,2607	29,2607	
	AH+	14		35,2064	35,2064
	HRS	14			45,7029
	Signifikanz		,188	,690	,217

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 167,752".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 14,000

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Revisionszeit (benötigte aufaddierte Gesamtzeit aller 3 Revisionschritte)

Tests auf Normalverteilung

	Material	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
RT (all)	AHPPlus	,194	14	,159	,929	14	,297
	ApexitPlus	,198	15	,116	,901	15	,099
	GuttaFlow	,202	14	,125	,926	14	,266
	HRS	,112	15	,200(*)	,941	15	,401

* Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Test auf Homogenität der Varianz

		Levene-Statistik	df1	df2	Signifikanz
RT (all)	Basiert auf dem Mittelwert	7,934	3	54	,000
	Basiert auf dem Median	6,301	3	54	,001
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	6,301	3	30,958	,002
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	7,748	3	54	,000

Univariat

ONEWAY ANOVA

RT (all)

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	45075,641	3	15025,214	11,007	,000
Innerhalb der Gruppen	73716,376	54	1365,118		
Gesamt	118792,017	57			

Post-Hoc-Tests

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: RT (all)
Tamhane

(I) Material	(J) Material	Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Obergrenze	Untergrenze
AHPlus	ApexitPlus	-1,571	9,959	1,000	-29,84	26,70
	GuttaFlow	16,071	8,581	,369	-8,62	40,76
	HRS	-57,038(*)	16,977	,019	-106,69	-7,39
ApexitPlus	AHPlus	1,571	9,959	1,000	-26,70	29,84
	GuttaFlow	17,643	8,522	,261	-6,73	42,02
	HRS	-55,467(*)	16,947	,023	-105,04	-5,89
GuttaFlow	AHPlus	-16,071	8,581	,369	-40,76	8,62
	ApexitPlus	-17,643	8,522	,261	-42,02	6,73
	HRS	-73,110(*)	16,176	,002	-121,32	-24,90
HRS	AHPlus	57,038(*)	16,977	,019	7,39	106,69
	ApexitPlus	55,467(*)	16,947	,023	5,89	105,04
	GuttaFlow	73,110(*)	16,176	,002	24,90	121,32

* Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau .05 signifikant.

Revisionszeit der einzelnen Revisionsschritte

Tests auf Normalverteilung

	Material	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
RT 1 (s)	AHPlus	,171	14	,200(*)	,915	14	,187
	ApexitPlus	,209	15	,077	,771	15	,002
	GuttaFlow	,186	14	,200(*)	,914	14	,182
	HRS	,108	15	,200(*)	,929	15	,260
RT 2 (s)	AHPlus	,169	14	,200(*)	,895	14	,097
	ApexitPlus	,142	15	,200(*)	,964	15	,756
	GuttaFlow	,132	14	,200(*)	,935	14	,363
	HRS	,205	15	,089	,835	15	,011
RT 3 (s)	AHPlus	,143	14	,200(*)	,970	14	,881
	ApexitPlus	,127	15	,200(*)	,965	15	,774
	GuttaFlow	,166	14	,200(*)	,927	14	,281
	HRS	,136	15	,200(*)	,954	15	,592

* Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Test auf Homogenität der Varianz

		Levene-Statistik	df1	df2	Signifikanz
RT 1 (s)	Basiert auf dem Mittelwert	9,009	3	54	,000
	Basiert auf dem Median	8,048	3	54	,000
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	8,048	3	32,375	,000
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	8,784	3	54	,000
RT 2 (s)	Basiert auf dem Mittelwert	3,575	3	54	,020
	Basiert auf dem Median	2,822	3	54	,047
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	2,822	3	25,087	,059
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	3,242	3	54	,029
RT 3 (s)	Basiert auf dem Mittelwert	,492	3	54	,690
	Basiert auf dem Median	,394	3	54	,758
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,394	3	49,554	,758
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,463	3	54	,709

Univariat**ONEWAY ANOVA**

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
RT 1 (s)	Zwischen den Gruppen	37257,068	3	12419,023	8,057	,000
	Innerhalb der Gruppen	83235,552	54	1541,399		
	Gesamt	120492,621	57			
RT 2 (s)	Zwischen den Gruppen	370,899	3	123,633	1,095	,359
	Innerhalb der Gruppen	6094,705	54	112,865		
	Gesamt	6465,603	57			
RT 3 (s)	Zwischen den Gruppen	14,660	3	4,887	,175	,913
	Innerhalb der Gruppen	1508,719	54	27,939		
	Gesamt	1523,379	57			

Post-Hoc-Tests

Mehrfachvergleiche

Tamhane

Abhängige Variable	(I) Material	(J) Material	Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
						Obergrenze	Unter-grenze
RT 1 (s)	AHPlus	ApexitPlus	1,195	10,190	1,000	-27,74	30,13
		GuttaFlow	16,143	8,652	,376	-8,90	41,18
		HRS	-50,405	18,333	,074	-104,15	3,34
	ApexitPlus	AHPlus	-1,195	10,190	1,000	-30,13	27,74
		GuttaFlow	14,948	8,382	,422	-9,11	39,00
		HRS	-51,600	18,207	,062	-105,09	1,89
	GuttaFlow	AHPlus	-16,143	8,652	,376	-41,18	8,90
		ApexitPlus	-14,948	8,382	,422	-39,00	9,11
		HRS	-66,548(*)	17,393	,009	-118,68	-14,42
	HRS	AHPlus	50,405	18,333	,074	-3,34	104,15
		ApexitPlus	51,600	18,207	,062	-1,89	105,09
		GuttaFlow	66,548(*)	17,393	,009	14,42	118,68
RT 2 (s)	AHPlus	ApexitPlus	-1,581	2,553	,991	-8,83	5,66
		GuttaFlow	1,143	2,688	,999	-6,52	8,80
		HRS	-5,514	4,759	,838	-19,53	8,50
	ApexitPlus	AHPlus	1,581	2,553	,991	-5,66	8,83
		GuttaFlow	2,724	2,708	,904	-4,97	10,42
		HRS	-3,933	4,771	,962	-17,96	10,10
	GuttaFlow	AHPlus	-1,143	2,688	,999	-8,80	6,52
		ApexitPlus	-2,724	2,708	,904	-10,42	4,97
		HRS	-6,657	4,845	,707	-20,83	7,52
	HRS	AHPlus	5,514	4,759	,838	-8,50	19,53
		ApexitPlus	3,933	4,771	,962	-10,10	17,96
		GuttaFlow	6,657	4,845	,707	-7,52	20,83
RT 3 (s)	AHPlus	ApexitPlus	-1,186	1,933	,991	-6,69	4,32
		GuttaFlow	-1,214	1,824	,986	-6,42	3,99
		HRS	-1,119	1,821	,991	-6,29	4,06
	ApexitPlus	AHPlus	1,186	1,933	,991	-4,32	6,69
		GuttaFlow	-,029	2,077	1,000	-5,92	5,87
		HRS	,067	2,074	1,000	-5,81	5,94
	GuttaFlow	AHPlus	1,214	1,824	,986	-3,99	6,42
		ApexitPlus	,029	2,077	1,000	-5,87	5,92
		HRS	,095	1,973	1,000	-5,50	5,70
	HRS	AHPlus	1,119	1,821	,991	-4,06	6,29
		ApexitPlus	-,067	2,074	1,000	-5,94	5,81
		GuttaFlow	-,095	1,973	1,000	-5,70	5,50

* Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau .05 signifikant.

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer während meines Studiums an der FAU Erlangen/ Nürnberg waren:

Prof. Dr. R. D. Bauer, Prof. Dr. H.-U. Beuscher, Dr. M. Boegershausen, Prof. Dr. M. Eichhorn, Prof. Dr. S. Eitner, Prof. Dr. K. Frank, Prof. Dr. R. Frankenberger, Prof. Dr. M. Fromm, Prof. Dr. J. Gasteiger, Prof. Dr. J. Göhl, Prof. Dr. W. Haas, OA Dr. K. Hertrich, Prof. Dr. U. Hirschfelder, Prof. Dr. N. Krämer, PD Dr. M. Kressel, Prof. Dr. W. Neuhuber, Prof. Dr. F. W. Neukam, Prof. Dr. M. Neurath, Prof. Dr. Dr. E. Nkenke, Dr. H. Oberschachtsiek, Prof. Dr. A. Ogilvie, Prof. Dr. M. Pelka, Prof. Dr. A. Petschelt, PD Dr. S. Reich, OA Dr. M. Roggendorf, Prof. Dr. Dr. S. Rupprecht, Prof. Dr. H. Schell, PD Dr. I. Schneider, Dr. D. L. Wachter, Prof. Dr. M. Wichmann, Prof. Dr. J. Zenk

Danksagung

Zunächst danke ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Roland Frankenberger sehr herzlich für die Überlassung des Dissertationsthemas, seine Unterstützung im Rahmen dieser Dissertation sowie die Übernahme des Referats.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn OA Dr. Matthias Roggendorf. Ohne seine hervorragende Unterstützung und Betreuung bei der Erstellung dieser Arbeit wäre es mir nach vielen Rückschlägen sicherlich nicht mehr möglich gewesen, eine Dissertation abzuschließen.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen bedanken, die mich mental unterstützt, motiviert und mir den Rücken frei gehalten haben, insbesondere bei meiner Familie und Frank.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „*Revidierbarkeit adhäsiver Sealer im Vergleich zu nicht-adhäsiven Sealern*“ in der Abteilung Zahnerhaltungskunde des Medizinischen Zentrums für ZMK-Heilkunde unter Leitung von Herrn Prof. Dr. R. Frankenberger und mit Unterstützung durch Herrn OA Dr. M. J. Roggendorf ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Marburg, 13.10.2014